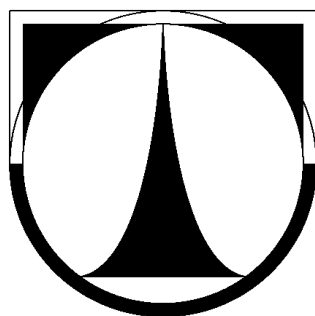


Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



Adam Blažek

# **KONSTRUKCE OTOČNÉHO STOJANU PRO ROBOT ABB IRB 1600ID**

Diplomová práce

2011

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor : Výrobní systémy

Zaměření : Pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu

## **KONSTRUKCE OTOČNÉHO STOJANU PRO ROBOT ABB IRB 1600ID**

### **CONSTRUCTION OF ROTARY STAND FOR ROBOT ABB IRB 1600ID**

KVS - VS - 213

Adam Blažek

Vedoucí práce : Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Počet stran : 101

Počet obrázků : 51

Počet tabulek : 42

Počet rovnic : 115

V Liberci 25.5.2011

Diplomová práce KVS - VS - 213

**TÉMA : KONSTRUKCE OTOČNÉHO STOJANU PRO ROBOT ABB IRB 1600ID**

**ANOTACE :**

Práce se zabývá návrhem kinematických variant pro rozšíření pohybů robota IRB 1600ID při svařování a přesunu mezi pracovišti. Pro řízené osy jsou navrženy motory firmy ABB kvůli snadnějšímu připojení k řídicímu systému. K řešení tuhosti sloupu je použita modální analýza v programu Inventor.

**THEME : CONSTRUCTION OF ROTARY STAND FOR ROBOT ABB IRB 1600ID**

**ANNOTATION:**

The thesis contains a proposal of kinematic options for extending moves of the robot IRB 1600ID which is used for welding and moves between sites. Driven axes are controlled by ABB motors, designed for easier access to the control system. To solve the stiffness of the column is used program for modal analysis in Inventor.

Desetinné třídění :

**Klíčová slova: (Stojan, robot, automatizace, motor, modální analýza)**

Zpracovatel : TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno : 2011

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 101

Počet obrázků : 51

Počet tabulek : 42

Počet rovnic : 115

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## Obsah

Obsah.....	6
Seznam zkratk a fyzikálních veličin.....	9
Úvod .....	16
Cíl práce.....	16
1. Robot pro obloukové svařování IRB 1600 ID .....	17
2. Svařování elektrickým obloukem.....	20
2.1. Svařování v ochranné atmosféře .....	20
2.1.1. Svařování odtavující se elektrodou v aktivní ochranné atmosféře – MAG ..	20
2.1.2. Svařování odtavující se elektrodou v inertní ochranné atmosféře – MIG ....	21
2.2. Parametry svařování metod MAG, MIG.....	22
3. Automatizovaná svařovací pracoviště .....	23
3.1. Pracoviště s jedním pohybem (bez pohybů robota) .....	23
3.1.1. Pracoviště s rotací u paty sloupu .....	23
3.1.2. Pracoviště s rotací na vrcholu sloupu .....	25
3.2. Pracoviště se dvěma pohyby (bez pohybů robota).....	26
3.2.1. Pracoviště s posuvem v ose y a v ose z.....	26
3.2.2. Pracoviště s posuvem v ose x a v ose z.....	27
3.2.3. Pracoviště s posuvem v ose x a v ose y .....	29
3.3. Pracoviště se třemi pohyby (bez pohybů robota).....	30
3.3.1. Pracoviště s rotací u paty sloupu, posuvem v ose x a v ose y .....	30
3.3.2. Pracoviště s posuvem v ose x, v ose y a v ose z.....	32
3.3.3. Pracoviště s rotací u paty sloupu, s posuvem v ose y a v ose z.....	38
3.4. Pracoviště se čtyřmi pohyby (bez pohybů robota).....	39

4.	Technická specifikace otočného stojanu.....	42
4.1.	Požadovaná technická specifikace .....	42
4.2.	Definice pracovního a operačního prostoru.....	43
4.3.	Stanovení kinematiky .....	44
4.4.	Uspořádání pracovišť .....	44
5.	Návrh a volba kinematických variant .....	47
5.1.	Přehled a popis variant .....	47
5.1.1.	Portálová konstrukce.....	47
5.1.2.	Zavěšení na křížovém stole .....	48
5.1.3.	Jeřábová konstrukce.....	49
5.1.4.	Stojan s ramenem na otočné desce .....	50
5.2.	Zhodnocení a volba kinematické varianty.....	51
6.	Návrhové výpočty .....	53
6.1.	Návrh osy Z .....	53
6.1.1.	Volba kuličkového šroubu .....	53
6.1.2.	Návrh pohon.....	58
6.1.3.	Návrh ložisek.....	59
6.1.4.	Návrh lineárního vedení.....	61
6.2.	Návrh osy Y .....	65
6.2.1.	Volba kuličkového šroubu .....	65
6.2.2.	Přímý pohon .....	70
6.2.3.	Návrh ložisek.....	71
6.2.4.	Návrh lineárního vedení.....	73
6.3.	Návrh otoče sloupu .....	77
6.3.1.	Návrh převodu .....	78
6.3.2.	Návrh ozubení .....	79

6.3.3. Návrh pohonu .....	81
6.3.4. Návrh ložiska.....	82
6.4. Návrh osy X.....	86
6.4.1. Návrh převodu.....	86
6.4.2. Návrh ozubení .....	87
6.4.3. Návrh pohonu .....	88
6.4.4. Návrh vedení .....	89
7. Modální analýza .....	95
8. Hodnocení .....	98
9. Závěr .....	99
10. Literatura.....	100

## Seznam zkratek a fyzikálních veličin

$F_j$ [N]	.....obecná síla
$F_{DYN}$ [N]	.....síla při dynamickém pohybu
$F_{man}$ [N]	.....síla při manipulaci
$F_{prac}$ [N]	.....síla při pracovním pohybu
$F_{m(i)}$ [N]	.....obecné střední vnitřní axiální zatížení
$F_{aj}$ [N]	.....obecné vnitřní axiální zatížení
$F_v$ [N]	.....síla od předeprnutí matice
$F_{a(1)DYN}$ [N]	.....vnitřní axiální zatížení při dynamickém pohybu ve směru 1
$F_{a(-1)DYN}$ [N]	.....vnitřní axiální zatížení při dynamickém pohybu ve směru -1
$F_{a(1)man}$ [N]	.....vnitřní axiální zatížení při manipulačním pohybu ve směru 1
$F_{a(-1)man}$ [N]	.....vnitřní axiální zatížení při manipulačním pohybu ve směru -1
$F_{a(1)prac}$ [N]	.....vnitřní axiální zatížení při pracovním pohybu ve směru 1
$F_{a(-1)prac}$ [N]	.....vnitřní axiální zatížení při pracovním pohybu ve směru -1
$F_{m(1)}$ [N]	.....střední vnitřní axiální zatížení ve směru 1
$F_{m(-1)}$ [N]	.....střední vnitřní axiální zatížení ve směru -1
$F_{max}$ [N]	.....maximální axiální síla
$P_i$ [N]	.....obecná ekvivalentní zatěžující síla
$F_{Ri}$ [N]	.....obecná radiální síla
$F_{Ai}$ [N]	.....obecná axiální síla
$P_{DYN}$ [N]	.....ekvivalentní zatěžující síla při dynamickém pohybu
$P_{man}$ [N]	.....ekvivalentní zatěžující síla při manipulačním pohybu
$P_{prac}$ [N]	.....ekvivalentní zatěžující síla při pracovním pohybu
$P_c$ [N]	.....celková ekvivalentní zatěžující síla
$C$ [N]	.....dynamická únosnost
$C_{skut.}$ [N]	.....skutečná dynamická únosnost



$G_{\text{ROB}}$  [N] .....tíha robota  
 $F_{\text{ROB}\alpha}$  [N] .....síla od robota při zrychlení  $\alpha$   
 $F_{\text{ROBa1x}}$  [N] .....síla od robota při zrychlení  $a_{1x}$   
 $F_{\text{ROBa1z}}$  [N] .....síla od robota při zrychlení  $a_{1z}$   
 $F_{\text{ROBa2}}$  [N].....síla od robota při zrychlení  $a_2$   
 $F_{\text{ROBa3}}$  [N].....síla od robota při zrychlení  $a_3$   
 $F_{\text{ROB}\omega}$  [N] .....síla od robota při otáčkách  $\omega$   
 $G_{\text{RAM}}$  [N].....tíha ramene  
 $F_{\text{RAM}\alpha}$  [N].....síla od ramene při zrychlení  $\alpha$   
 $F_{\text{RAMa1x}}$  [N].....síla od ramene při zrychlení  $a_{1x}$   
 $F_{\text{RAMa1z}}$  [N] .....síla od ramene při zrychlení  $a_{1z}$   
 $F_{\text{RAMa2}}$  [N].....síla od ramene při zrychlení  $a_2$   
 $F_{\text{RAM}\omega}$  [N].....síla od ramene při otáčkách  $\omega$   
 $F_{\text{VYVAZ}}$  [N] .....síla od vyvažování  
 $G_{\text{SL}}$  [N].....tíha sloupu  
 $F_{\text{SLa1x}}$  [N].....síla od sloupu při zrychlení  $a_{1x}$   
 $P$  [N] .....obecná ekvivalentní zatěžující síla  
 $F_{\text{ti}}$  [N].....obecná tečná síla  
 $F_{\text{Ni}}$  [N].....obecná normálová síla  
 $F_{\text{tD}}$  [N].....tečná síla při dynamickém pohybu  
 $F_{\text{ND}}$  [N].....normálová síla při dynamickém pohybu  
 $F_{\text{D}}$  [N] .....výsledná dynamická síla  
 $F_{\text{tP}}$  [N] .....tečná síla při pracovním pohybu  
 $F_{\text{NP}}$  [N] .....normálová síla při pracovním pohybu  
 $F_{\text{P}}$  [N] .....výsledná pracovní síla  
 $F_{\text{Rx}}$  [N] .....radiální síla ve směru osy x  
 $F_{\text{Ay}}$  [N] .....axiální síla ve směru osy y  
 $F_{\text{Rz}}$  [N] .....radiální síla ve směru osy z

$F_R$ [N]	.....výsledná radiální síla
$F_{Ri}$ [N]	.....obecná radiální síla
$F_{RD}$ [N]	.....radiální síla při dynamickém pohybu
$F_{RP}$ [N]	.....radiální síla při pracovním pohybu
$F_{Ai}$ [N]	.....obecná axiální síla
$P_D$ [N]	.....ekvivalentní zatěžující síla při dynamickém pohybu
$P_P$ [N]	.....ekvivalentní zatěžující síla při pracovním pohybu
$P$ [N]	.....výsledná ekvivalentní zatěžující síla
$v_j$ [m/min]	.....obecná rychlost pohybu
$v_{DYN}$ [m/min]	.....rychlost pohybu při dynamickém zatížení
$v_{man}$ [m/min]	.....rychlost pohybu při manipulačním zatížení
$v_{prac}$ [m/min]	.....rychlost pohybu při pracovním zatížení
$q_j$ [%]	.....obecná poměrná doba působení
$q_{DYN}$ [%]	.....poměrná doba působení při dynamickém zatížení
$q_{man}$ [%]	.....poměrná doba působení při manipulačním zatížení
$q_{prac}$ [%]	.....poměrná doba působení při pracovním zatížení
$i$ [-]	.....počet nosných závitů šroubu
$C_a$ [N]	.....základní dynamická únosnost
$k$ [N/ $\mu$ m]	.....součinitel tuhosti
$h_3$ [mm/ot]	.....stoupání závitu šroubu
$d$ [mm]	.....průměr
$l$ [m]	.....délka
$L_{hš}$ [h]	.....životnost šroubu
$f_{a95}$ [-]	.....faktor spolehlivosti
$f_v$ [-]	.....součinitel dle typu uložení hřídele
$f_N$ [-]	.....součinitel dle typu uložení hřídele
$M_k$ [Nm]	.....kroutící moment
$n_m$ [ot/min]	.....střední otáčky

$n_j$  [ot/min] .....obecné otáčky  
 $L_i$  [ot] .....obecná životnost matice  
 $f_m$  [-] .....koeficient jakosti a vlivu materiálu  
 $L_{hi}$  [h] .....obecná životnost matice  
 $L_1$  [ot] .....životnost matice ve směru 1  
 $L_{h1}$  [h] .....životnost matice ve směru 1  
 $L_{-1}$  [ot] .....životnost matice ve směru -1  
 $L_{h-1}$  [h] .....životnost matice ve směru -1  
 $L$  [ot] .....výsledná životnost matice  
 $L_h$  [h] .....výsledná životnost matice  
 $n_{ot.max}$  [ot/min] ....maximální otáčky šroubu  
 $n_{krit}$  [ot/min] .....kritické otáčky šroubu  
 $n_{ul.max}$  [ot/min] ....maximální otáčky šroubu  
 $n_{min}$  [ot/min] .....minimální otáčky šroubu pro udržení rychlosti  
 $v_3$  [m/min] .....rychlost pohybu robota  
 $n_{imax}$  [ot/min] .....obecné maximální otáčky  
 $\sigma_{krit}$  [MPa] .....kritické napětí  
 $J_{RED}$  [kgm<sup>2</sup>] .....redukovaný moment setrvačnosti  
 $J_m$  [kgm<sup>2</sup>] .....moment setrvačnosti motoru  
 $J_{sp}$  [kgm<sup>2</sup>] .....moment setrvačnosti spojky  
 $J_s$  [kgm<sup>2</sup>] .....moment setrvačnosti šroubu  
 $m_{3,2}$  [kg] .....hmotnost ramene a robota  
 $a_3$  [ms<sup>-2</sup>] .....zrychlení robota  
 $X$  [-] .....koeficient vlivu radiálního zatížení  
 $Y$  [-] .....koeficient vlivu axiálního zatížení  
 $M_{ki}$  [Nm] .....obecný kroutící moment  
 $L_{hskut.}$  [h] .....skutečná životnost  
 $K_p$  [-] .....koeficient vlivu zatížení

$X_0$ [mm]	.....vzdálenost k ose ve směru x
$Y_0$ [mm]	.....vzdálenost k ose ve směru y
$L_b$ [mm]	.....délka vedení
$L_r$ [-]	.....šířka vedení
$Z_1$ [mm]	.....vzdálenost k ose ve směru z
$Y_1$ [mm]	.....vzdálenost k ose ve směru y
$Z_0$ [mm]	.....vzdálenost k ose ve směru z
$n$ [-]	.....počet hnízd
$J_{sl}$ [kgm <sup>2</sup> ]	.....moment setrvačnosti sloupu
$m_2$ [kg]	.....hmotnost ramene
$m_3$ [kg]	.....hmotnost robota
$r_2$ [mm]	.....vzdálenost těžiště ramene od středu sloupu
$r_3$ [mm]	.....vzdálenost těžiště robota od středu sloupu
$\alpha$ [ot/s <sup>2</sup> ]	.....úhlové zrychlení sloupu
$M_M$ [Nm]	.....kroutící moment motoru
$a_2$ [ms <sup>-2</sup> ]	.....zrychlení ramene
$v_2$ [ms <sup>-1</sup> ]	.....rychlost ramene
$\omega$ [ot/min]	.....úhlová rychlost sloupu
$\alpha_M$ [ot/s <sup>2</sup> ]	.....úhlové zrychlení na motoru
$J_c$ [kgm <sup>2</sup> ]	.....celkový moment setrvačnosti
$p_c$ [-]	.....celkový převodový poměr
$p_{12}$ [-]	.....převodový poměr 12
$p_{34}$ [-]	.....převodový poměr 34
$\sigma_{Flimb}$ [MPa]	.....mez únavy v ohybu
$\sigma_{Hlimb}$ [MPa]	.....mez únavy v dotyku
$m_{34}$ [mm]	.....modul 34
$f_p$ [-]	.....poměrný součinitel pro výpočet roztečné kružnice
$K_F$ [mm]	.....součinitel přidavného zatížení

$M_{k3}$  [Nm] .....kroutící moment  
 $\psi_m$  [-] .....poměr šířky ozubeného kola ke střednímu průměru  
 $z_3$  [-] .....počet zubů  
 $\sigma_{FP}$  [MPa] .....přípustné napětí v ohybu  
 $d_3$  [mm] .....průměr ozubeného kola  
 $f_H$  [-] .....poměrný součinitel pro výpočet modulu ozubení  
 $K_H$  [mm] .....součinitel přidavného zatížení  
 $\psi_d$  [-] .....poměr šířky ozubeného kola ke střednímu modulu  
 $z_4$  [-] .....počet zubů  
 $\sigma_{HP}$  [MPa] .....přípustné napětí v dotyku  
 $d_4$  [mm] .....průměr ozubeného kola  
 $p_{34skut.}$  [-] .....skutečný převodový poměr 34  
 $p_{cskut.}$  [-] .....skutečný převodový poměr  
 $J_M$  [kgm<sup>2</sup>] .....moment setrvačnosti motoru  
 $J_{př.}$  [kgm<sup>2</sup>] .....moment setrvačnosti převodovky  
 $M_{MU30}$  [Nm] .....kroutící moment motoru MU30  
 $M$  [Nm] .....kroutící moment v ložisku od konstrukce  
 $M_{nom.}$  [Nm] .....nominální kroutící moment  
 $r$  [mm] .....poloměr ložiska  
 $f$  [-] .....součinitel tření  
 $n_{MU30}$  [ot/min] .....otáčky motoru MU30  
 $M_{nomMU30}$  [Nm] .....nominální kroutící moment motoru MU30  
 $J_{MU30}$  [kgm<sup>2</sup>] .....moment setrvačnosti motoru MU30  
 $M_i$  [Nm] .....obecný kroutící moment  
 $\alpha$  [°] .....úhel záběru ozubených kol  
 $p$  [-] .....převodový poměr  
 $R$  [mm] .....poloměr pastorku  
 $a_1$  [ms<sup>-2</sup>] .....zrychlení sloupu

$m$  [kg] .....celková hmotnost

$m_{sl}$  [kg].....hmotnost sloupu

$v_{sl}$  [m/min] .....rychlost pohybu sloupu

## Úvod

V době kdy klademe větší nároky na přesnost a spolehlivost výroby má použití robotů ve strojírenství stále větší význam. Jejich hlavním cílem je nahradit manuální práci člověka, zejména pak v sériové výrobě, nebezpečných výrobních prostředí, manipulaci s těžkými břemeny u strojů, na pracovištích kde je potřeba dodržet přesnou dráhu nástroje, a jiné.

Svařovací roboti jsou na svařovacím pracovišti, kde je kladen vysoký nárok na kvalitu svaru, vhodným řešením neboť najít kvalitního svařovacího dělníka je dnes stále těžší. Problematikou svařovacích robotů se na trhu zabývá celá řada firem, zvyšování konkurence v této oblasti vede výrobce k rozšiřování nabídek pro různá odvětví průmyslu, proto ke svým robotům nabízí také externě řízené osy.

## Cíl práce

Důvodem vzniku této práce je rozšířit sortiment výrobků firmy ABB a mít tak vhodnou variantu pro široké spektrum zákazníků. Cílem práce je navrhnout vhodné zařízení pro svařovacího robota IRB 1600 ID, které zvětší pracovní prostor robota a bude tak možné svařovat konstrukce větších rozměrů. Bude navrženo několik variant z kterých bude vybrána jedna konkrétní. Pohony externích os budou voleny od firmy ABB řada MU, aby je bylo možné snadno připojit na řídicí systém firmy ABB.

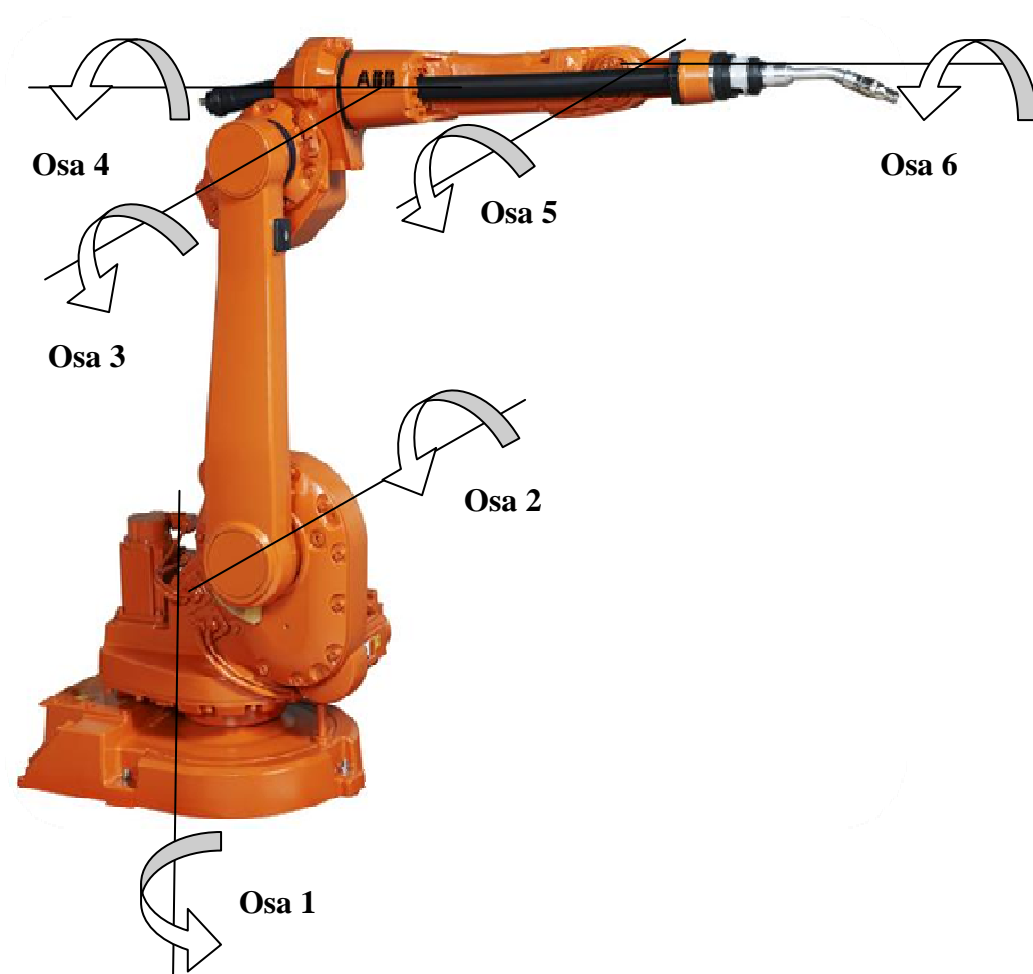
## 1. Robot pro obloukové svařování IRB 1600 ID

Tento typ robota (viz Obrázek 1) je speciálně navržen pro obloukové svařování. Tomu odpovídá jeho konstrukční uspořádání i přívod kabeláže, jenž je vedena uvnitř horního ramene robota. Robot využívá sériové kinematické struktury, jejíž výhodou je velký poměr pracovního prostoru (množina všech bodů v prostoru, kterých je robot schopen dosáhnout pracovní hlavicí) ku operačnímu prostoru (pracovní prostor rozšířený o konstrukci robota), snadné řízení a prostor bez singularity. Nevýhodou je nízký poměr tuhosti ku hmotnosti a nosnosti ku hmotnosti, menší polohovací přesnost a menší dynamika než u paralelní struktury. Robot se ve své třídě vyznačuje vysokou rychlostí polohování, dlouhou životností a vysokou pracovní přesností.

Maximální nosnost robota činí 4 kg. To mu umožňuje dosahovat vysokých zrychlení v krátkém časovém intervalu a minimalizovat tak vedlejší pracovní časy. Opakovatelná přesnost polohování je 0,05 mm, což je z hlediska technologie svařování dostatečným komfortem. Robot se instaluje pouze ve dvou horizontálních polohách, a to buď přímo na podlahu či podstavec nebo zavěšením na strop (hlavou dolů). Celková hmotnost robota činí 250 kg.

Robot využívá technologie obloukového svařování (MIG, MAG). Aby nedošlo k porušení ochranné atmosféry při svařování a byla zajištěna jakost svarového spoje, tak se doporučuje instalace robota na uzavřeném pracovišti (tím rozumíme takové pracoviště, na kterém nedochází k proudění vzduchu takovou rychlostí, aby nedošlo k narušení ochranné atmosféry při svařování). Je-li robot v provozu, musí být teplota na pracovišti i všech částí robota v rozsahu  $+5^{\circ}\text{C}$  až  $+45^{\circ}\text{C}$ . V režimu vypnuto se může teplota na pracovišti i všech částí robota pohybovat v rozsahu  $-25^{\circ}\text{C}$  až  $+55^{\circ}\text{C}$ .





Obrázek 1 - Robot IRB 1600 ID [16]

**Technické parametry robota IRB 1600 ID:**

***SPECIFIKACE:***

Nosnost [ kg]:	4
Počet stupňů volnosti [°]:	6
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,05$
Rozměry podstavy [ mm]:	484 x 648
Celková výška [mm]:	1 392
Hmotnost robota [kg]:	250
Hmotnost řídicího zařízení [kg]:	150
Rozměry řídicího zařízení [mm]:	970 (V) x 725 (Š) x 710 (H)

Rozsahy os (Obrázek 1):

Osa	Typ pohybu	max. rychlost	Rozsah pohybu
1	kývání	180°/s	+180° do -180°
2	kývání	180°/s	+150° do -90°
3	kývání	180°/s	+79° do -238°
4	kývání	320°/s	+155° do -155°
5	kývání	380°/s	+135° do -90°
6	kývání	460°/s	+200° do -200° Společně s osou 4 max. +300° do -300°

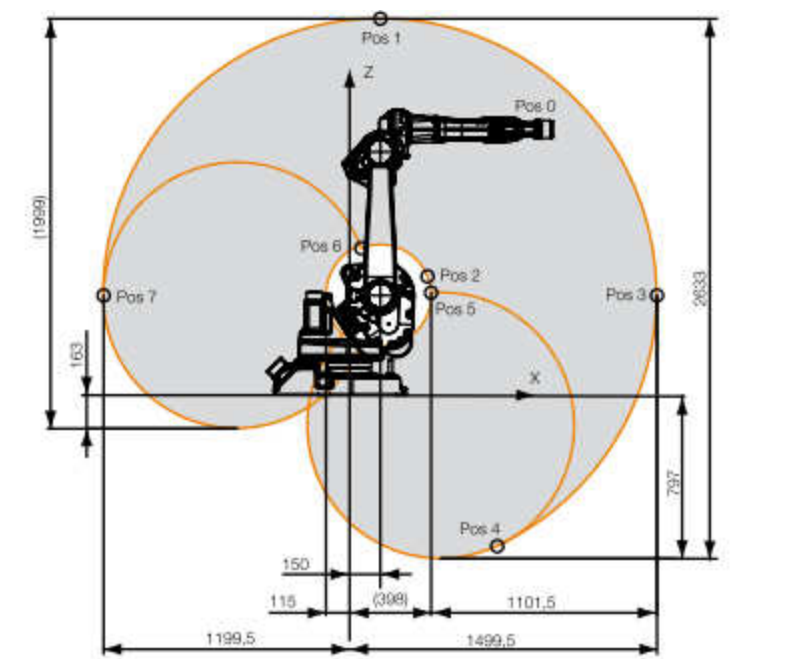
Tabulka 1 - Rozsahy os robota IRB 1600 ID [16]

### ***ELEKTRICKÉ PŘIPOJENÍ:***

Napětí : 3-fázové, ( 200-600)V, 50/60Hz

Příkon: 570 W

### ***PRACOVNÍ PROSTOR:***



Obrázek 2 - Pracovní prostor robota IRB 1600 ID [16]

## **2. Svařování elektrickým obloukem**

Svařování je proces, který slouží k vytvoření trvalého, nerozebíratelného spoje dvou a více materiálů. Obecným požadavkem na proces svařování je vytvoření takových termodynamických podmínek, při kterých je umožněn vznik meziatomárních vazeb. Protože prakticky není možné dosáhnout spojení na úrovni meziatomových vazeb za okolních podmínek (běžná teplota, tlak), kdy je termodynamický stav materiálů stabilní resp. metastabilní, je nutné tento termodynamický stav změnit. Proto je při svařování nutné působit buď tlakem, teplem nebo oběma faktory najednou. Obecně platí závislost čím vyšší působí tlak tím méně je potřeba vnést teplo a obráceně. Tlakové svařování je označením svařování za působení převážně tlaku a tavné při působení tepla. Svařovat lze kovové i nekovové materiály, materiály podobných i různých vlastností. Ale pro každý typ spoje je vhodná i jiná metoda svařování. Při svařování dojde vždy ke změně fyzikálních nebo mechanických vlastností základního materiálu (spojovaného) v okolí spoje.[1]

### **2.1. Svařování v ochranné atmosféře**

Robot IRB 1600 ID využívá technologie obloukového svařování v ochranné atmosféře s odtavující se elektrodou (MAG, MIG). Výhodou těchto metod je, že ji lze použít ve všech svařovacích pozicích. Nevýhodou je použití pouze na takových pracovištích, kde nedochází k velkému proudění vzduchu, aby nedošlo k od fouknutí ochranné atmosféry.[1]

#### **2.1.1. Svařování odtavující se elektrodou v aktivní ochranné atmosféře – MAG**

Zkratka MAG vznikla z počátečních písmen anglických slov Metal Active Gas.

Ochranný plyn vystupuje z ústí hubice hořáku (tj. pracovní hlavice, mezi jejím koncem a svařencem dochází k zapálení elektrického oblouku), obklopuje svarovou lázeň a elektrický oblouk. Zabraňuje přístupu okolní atmosféry. Nejčastěji se jako ochranné aktivní atmosféry používá CO<sub>2</sub>. Plyn CO<sub>2</sub> aktivně působí na svarovou lázeň a chemické reakce probíhající v elektrickém oblouku. Vlivem vysoké teploty elektrického

oblouku dochází k termické disociaci a částečně ionizaci prvků a sloučenin nacházejících se ve sloupci elektrického oblouku. Tato disociační a ionizační energie se uskutečňuje při rekombinaci na poměrně chladném povrchu svarové lázně a zvyšuje hloubku průvaru.

Přenos materiálu se uskutečňuje zkratovým nebo bezzkratovým přenosem. **Zkratový přenos** je charakterizován tím, že během přenosu nastane okamžik, kdy dojde k dotyku nataveného konce elektrody se svarovou lázní. Vlivem sil dojde ke vtažení nataveného materiálu do svarové lázně. Zkratový přenos je citlivý na správné nastavení svařovacích parametrů a umožňuje svařování ve všech polohách. **Bezzkratový přenos** je charakterizován tím, že po dosažení určité proudové hustoty na elektrodě vznikají kapičky kovu, jejichž průměr je menší než délka oblouku. Používá se pro větší množství odtaveného materiálu, vzniká rozměrnější svarová lázeň a zhoršují se podmínky pro svařování v polohách.[1]

### **2.1.2. Svařování odtavující se elektrodou v inertní ochranné atmosféře – MIG**

Zkratka MIG vznikla z počátečních písmen anglických slov Metal Inert Gas.

Zásadní rozdíl oproti metodě MAG je v použití ochranné atmosféry. U inertní ochranné atmosféry se nejčastěji používá plynů Argon, Helium nebo kombinaci Helium Argon (70%He 30%Ar). Plyn obklopuje svarovou lázeň a elektrický oblouk. Plní funkci ochranou vůči okolní atmosféře, neovlivňuje svarovou lázeň a nevstupuje do chemických reakcí probíhajících v elektrickém oblouku.[1]

## 2.2. Parametry svařování metod MAG, MIG

metoda	MAG	MIG
poloha svarů	ve všech polohách	ve všech polohách
tl. základního materiálu	0,8 - 40 mm	nad 2 mm
druh základního materiálu	nelegované a nízkolegované oceli	konstrukční oceli, vysokolegované, austenitické, žárovevné, hliník a jeho slitiny, měď a jeho slitiny, nikl a jeho slitiny
svařovací proud a napětí	zkratový: $I_s = 40 - 190 \text{ A}$ $U_0 = 16 - 21 \text{ V}$ bezzkratový: $I_s = 120 - 500 \text{ A}$ $U_0 = 20 - 35 \text{ V}$	$I_s = 120 - 500 \text{ A}$ $U_0 = 16 - 21 \text{ V}$
druh svařovacího proudu	stejnosměrný	stejnosměrný
elektroda	+ pól	+ pól
$\Phi$ elektrody	0,8 - 2,4 mm	1,2 - 2,4 mm
svařovací rychlost	10 - 150 cm.min <sup>-1</sup>	10 - 150 cm.min <sup>-1</sup>

Tabulka 2 - Parametry obloukového svařování (MAG, MIG) [1]

Z hlediska řízení je nejdůležitějším parametrem svařovací rychlost. Svařovací rychlost musí být po celou dobu svařování konstantní, aby se dosáhlo stejné hloubky provaření a jakosti povrchu svaru.

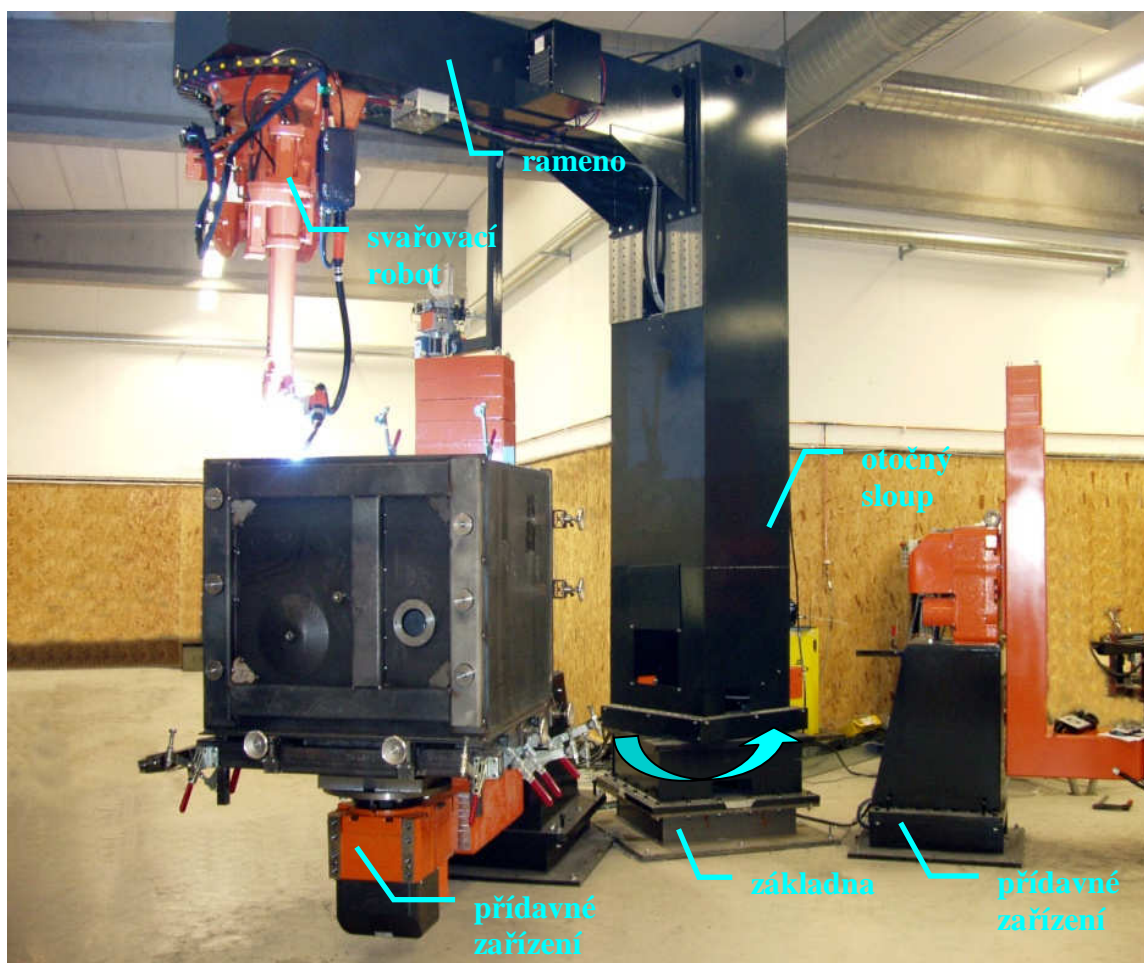
### 3. Automatizovaná svařovací pracoviště

Hledáme takové pracoviště, které bude schopno svařovat svařence od automobilového průmyslu až po vagóny vlakových souprav. Maximální pracovní prostor, ve kterém by měl robot pracovat jsou 20(délka) x 3(šířka) x 4(výška) metry. Svařovací proces na pracovišti musí být plně automatizovaný.

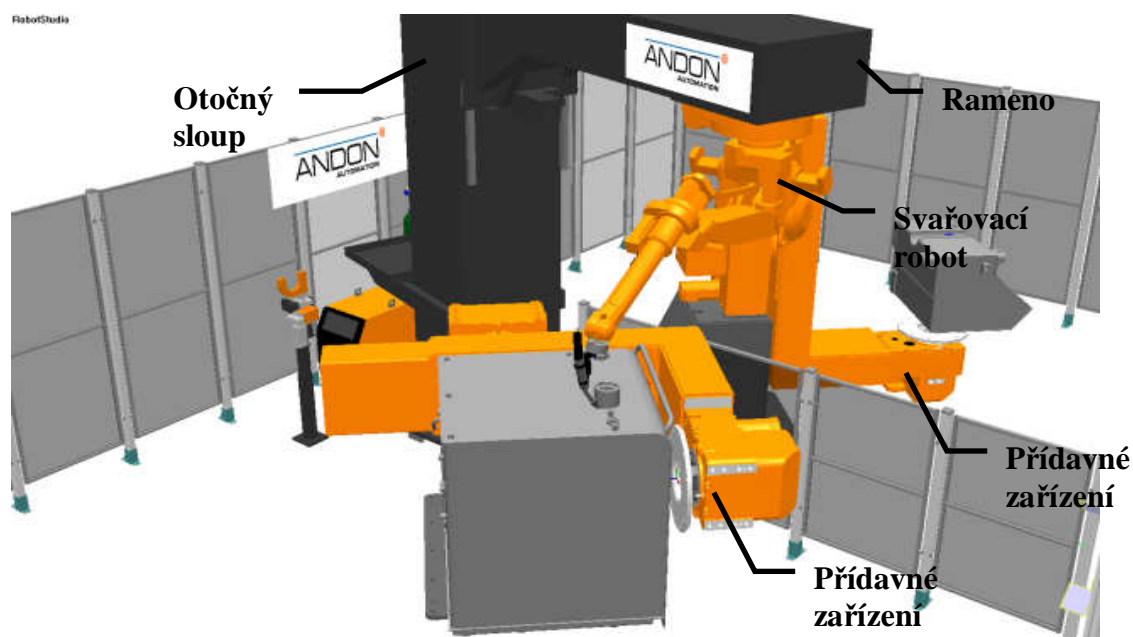
#### 3.1. Pracoviště s jedním pohybem (bez pohybů robota)

Tato pracoviště se často kombinují s přídatným zařízením, které je schopné vykonávat další pohyby. Používají se zejména pro takové svařence, jenž svou činností obsáhne svařovací robot.

##### 3.1.1. Pracoviště s rotací u paty sloupu



Obrázek 3 – reálné pracoviště s rotací u paty sloupu [15]



Obrázek 4 – 3D model pracoviště s rotací u paty sloupu [15]

Volba jednoho robota pro více pracovišť se realizuje kvůli zkrácení vedlejších pracovních časů. Rotace zde slouží pouze jako prvek pro přestavbu mezi dvěma či více pracovišti (viz Obrázek 3, Obrázek 4).

Z hlediska konstrukce sloupu se u paty nachází motor s převodovkou a patní ložisko, tím je zajištěno otáčení celé konstrukce. Takové řešení má za následek větší energetické nároky na motor, vyšší volbu převodového poměru a nižší životnost ložiska a ozubení.

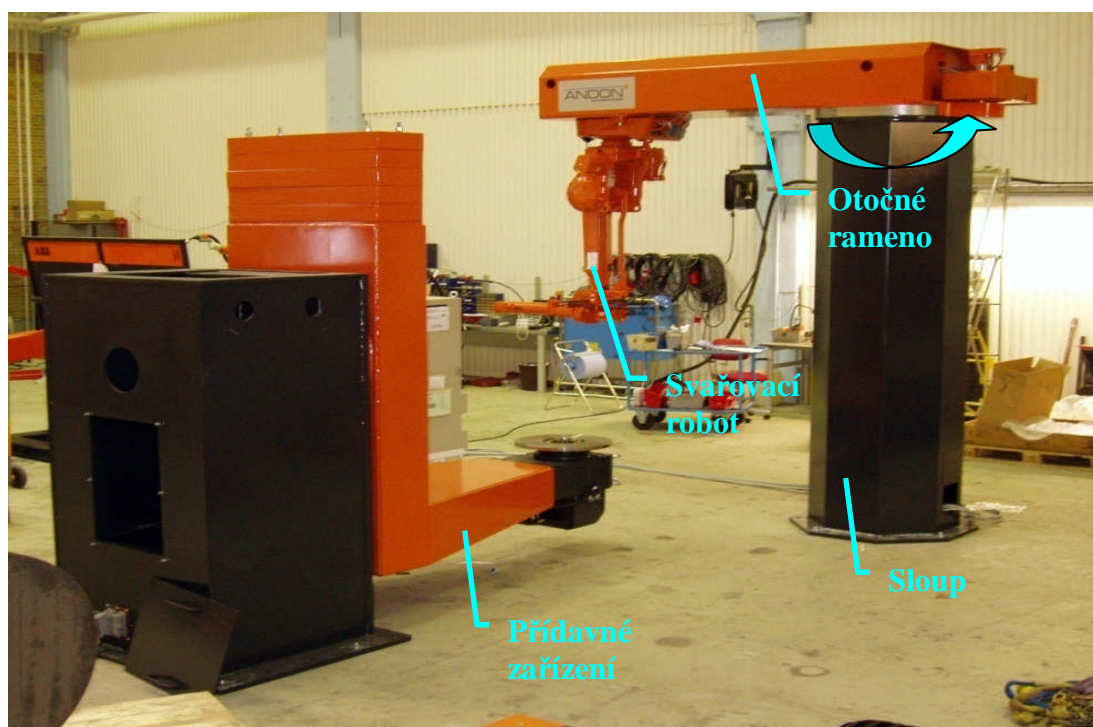
Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

#### Technické parametry:

Délka ramene [m]:	2
Výška sloupu [m]:	2,5
Opakovatelná přesnost otáčení [°]:	$\pm 0,03$
Rychlost otáčení [°/s]:	50
Celková hmotnost [kg]:	2600
Příkon [kVA]:	2,5



### 3.1.2. Pracoviště s rotací na vrcholu sloupu



Obrázek 5 - pracoviště s rotací na vrcholu sloupu [15]

Tento typ pracoviště má stejné použití jako pracoviště s rotací u paty sloupu. Zásadní rozdíl je pouze v konstrukčním provedení. Rotaci zde koná pouze rameno, na jehož konci je umístěn svařovací robot (viz Obrázek 5). Při dodržení stejných parametrů jako u předchozího případu (robustnost konstrukce, rychlost a dynamika otáčení) dojde ke snížení energetických nároků a zvýšení životnosti.

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

#### Technické parametry:

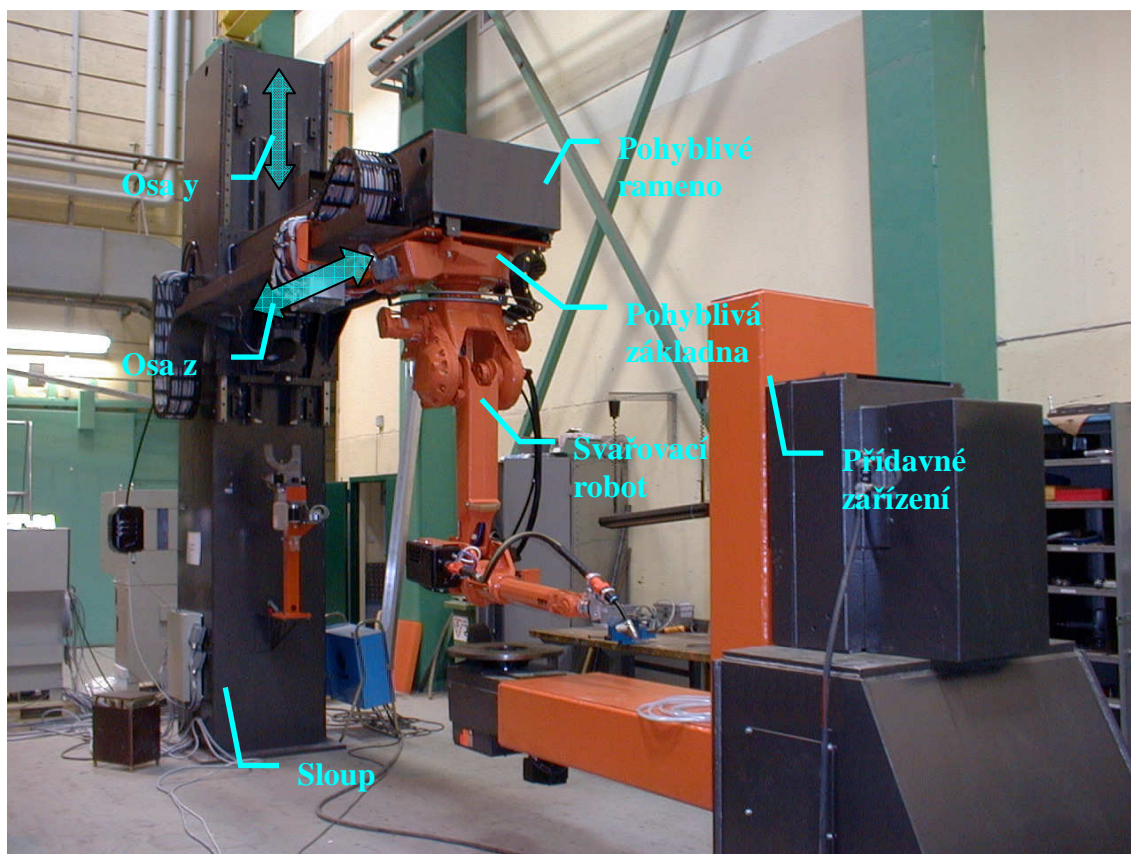
Délka ramene [m]:	2
Výška sloupu [m]:	2,5
Opakovatelná přesnost otáčení [°]:	$\pm 0,03$
Rychlost otáčení [°/s]:	90
Hmotnost ramene [kg]:	1400
Příkon [kVA]:	2,5



## 3.2. Pracoviště se dvěma pohyby (bez pohybů robota)

Spektrum použití pracovišť se dvěma pohyby, je již dost široké. Typy svařenců, které je možno svařovat na těchto pracovištích, jsou závislé na kombinaci dvou posuvných os. Obecně se však používají pro svařování dlouhých svařenců.

### 3.2.1. Pracoviště s posuvem v ose y a v ose z



Obrázek 6 - pracoviště s posuvem v ose y a v ose z [15]

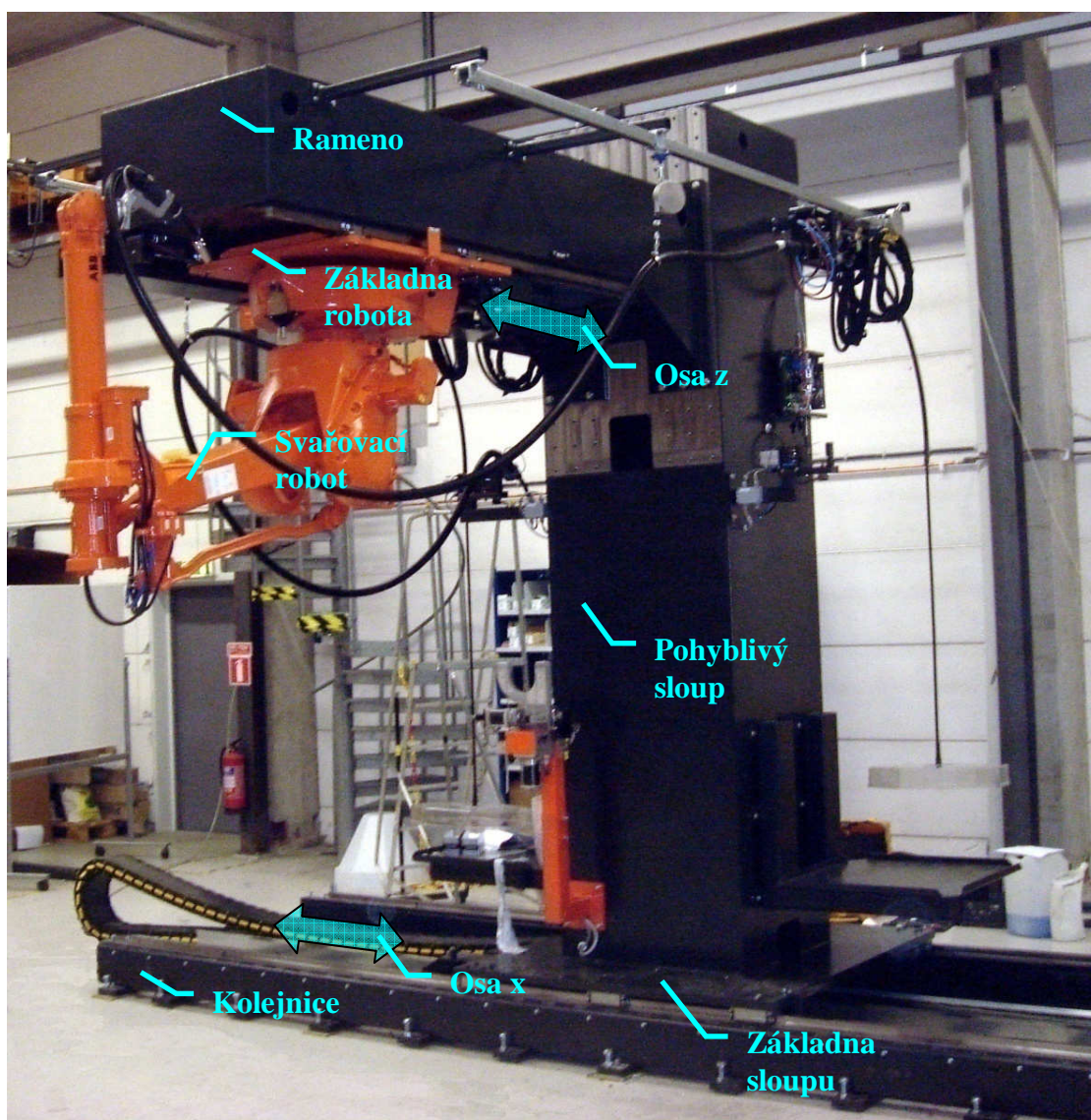
Používají se pro středně velké nebo vysoké výrobky (viz Obrázek 6). Pracoviště se kombinují s přídavným zařízením (rotující stůl, pojízdný pás). Jednotlivé pohyby se uskutečňují pomocí kuličkových šroubů a uložení pojezdu je realizováno lineárním vedením.

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

**Technické parametry:**

Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	2,5 – 5,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose y [m/min]:	30
Příkon pro osu y [kVA]:	5,5
Rychlost pohybu v ose z [m/min]:	30
Příkon pro osu z [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	1400

### 3.2.2. Pracoviště s posuvem v ose x a v ose z



Obrázek 7 - pracoviště s posuvem v ose x a posuvem v ose z [15]

Využívají se pro svařování dlouhých a širokých konstrukcí (viz Obrázek 7). Není potřeba realizovat další pohybovou osu přidavným zařízením. Kvůli omezení v ose y se příliš nepoužívá pro svařování v dutinách (značné omezení pracovního prostoru).

Pohyb v ose z je realizován pomocí kuličkového šroubu, na ose x se nachází třecí převod s přímým odměřováním, aby byla zajištěna informace o aktuální poloze. Uložení bylo uskutečněno lineárním vedením.

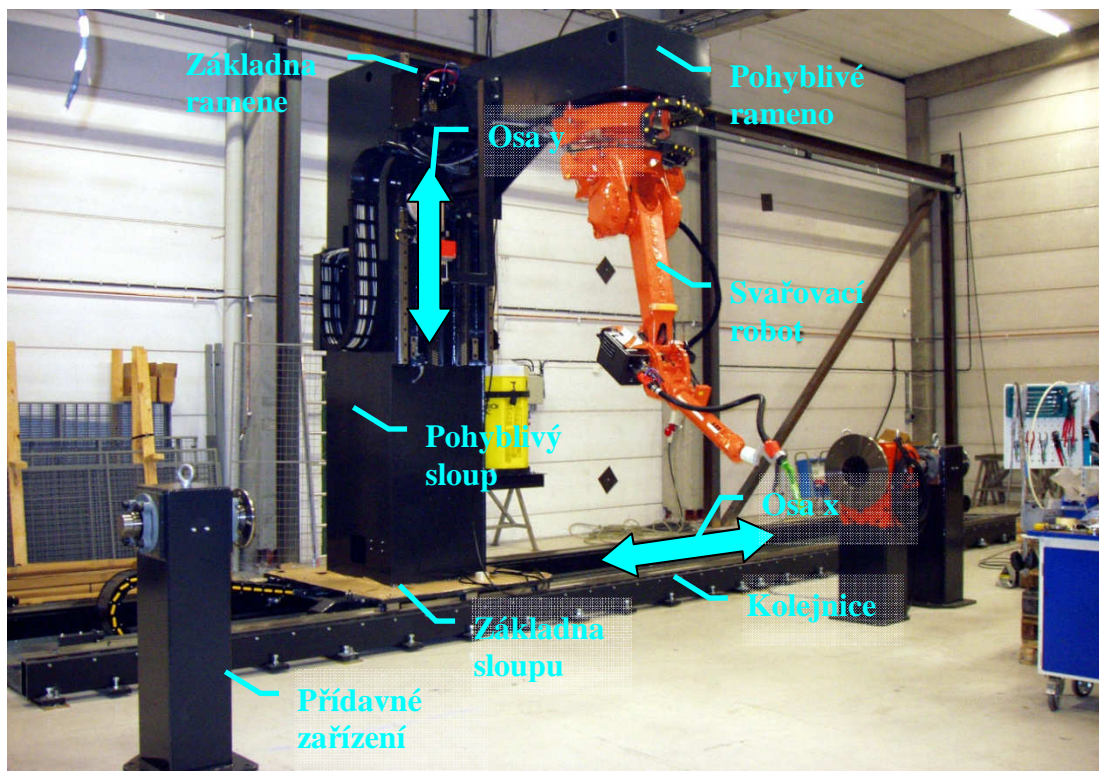
Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

**Technické parametry:**

Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	2,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose x [m/min]:	6,4
Příkon pro osu x [kVA]:	7,5
Rychlost pohybu v ose z [m/min]:	30
Příkon pro osu z [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	1400
Hmotnost sloupu s ramenem [kg]:	4000



### 3.2.3. Pracoviště s posuvem v ose x a v ose y



Obrázek 8 - pracoviště s posuvem v ose x a v ose y [15]

Podobný typ pracoviště jako v předchozím případě. Využití pro dlouhé a vysoké výrobky, díky další přídavné rotaci je robot schopen vykonávat většinu náročnějších operací (viz Obrázek 8). Díky pohybu v ose x je možné umístit několik pracovišť za sebou a minimalizovat tak vedlejší pracovní časy. Tento způsob řešení se uskutečňuje v prostorách, kde je dominantním parametrem délka nad šířkou.

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

#### Technické parametry:

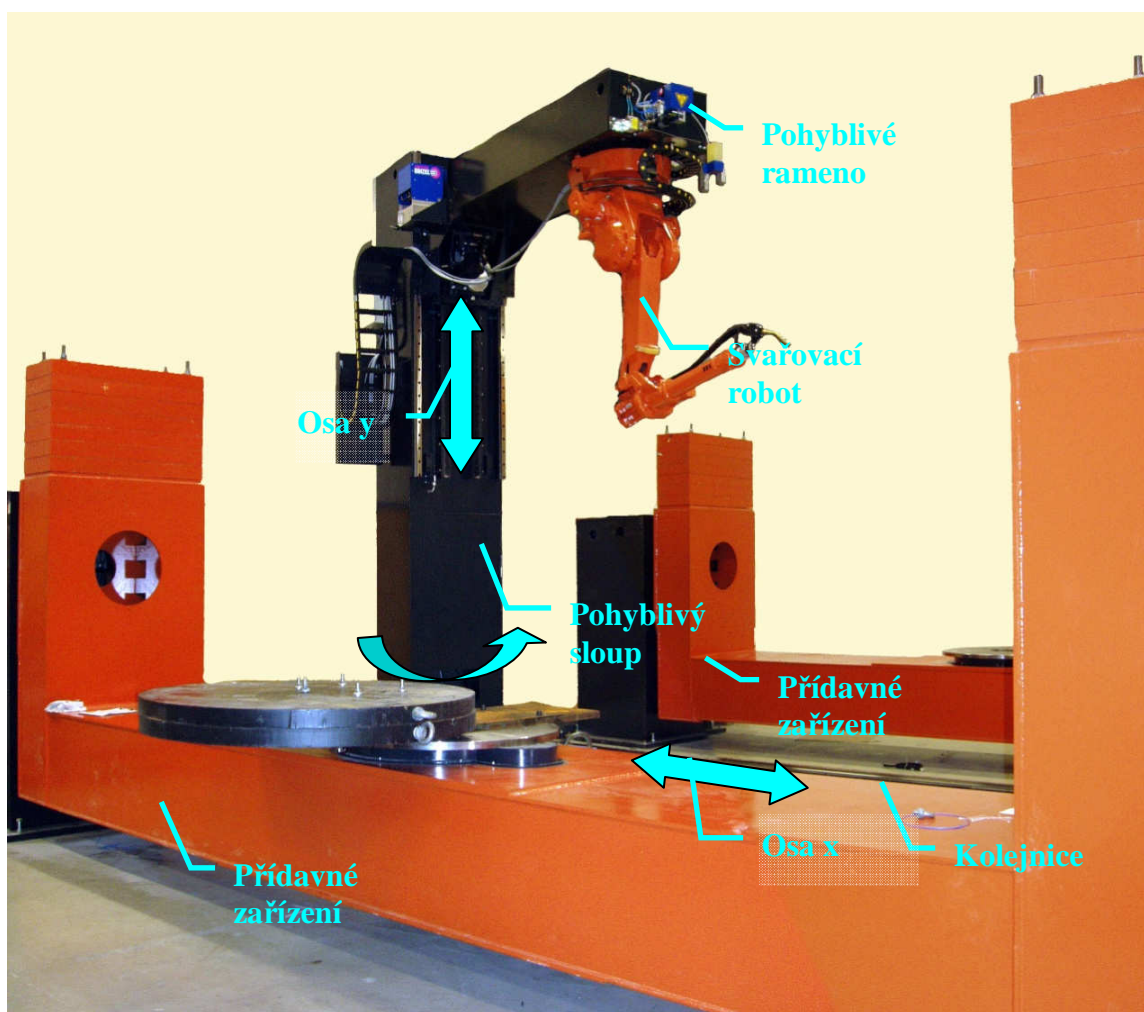
Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	5,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose x [m/min]:	6,4
Příkon pro osu x [kVA]:	7,5

Rychlost pohybu v ose y [m/min]:	30
Příkon pro osu y [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	1400
Hmotnost sloupu s ramenem [kg]:	6000

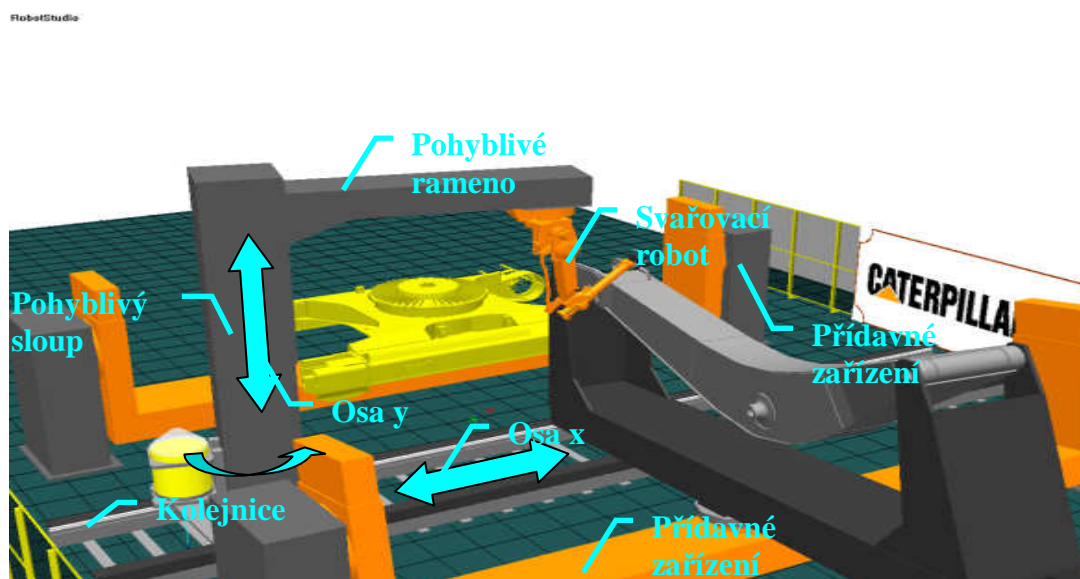
### 3.3. Pracoviště se třemi pohyby (bez pohybů robota)

Kompaktní pracoviště, které spolu s pohyby robota zvládá svařování po velmi složitých křivkách. Podle typu konstrukčního provedení jednotlivých os, je možné svařovat povrchové i vnitřní svary. Limitujícím faktorem jsou vlastní rozměry pracoviště (výška sloupu, délka ramene a délka jednotlivých pojezdů).

#### 3.3.1. Pracoviště s rotací u paty sloupu, posuvem v ose x a v ose y



Obrázek 9 – reálné pracoviště s rotací u paty sloupu, posuvem v ose x a v ose y [15]



Obrázek 10 – 3D model pracoviště s rotací u paty sloupu, posuvem v ose x a v ose y [15]

Toto uspořádání se využívá pro svařování dlouhých a vysokých svařenců s velkou četností svarů. Výhodou je umístění dvou pracovišť vedle sebe (viz Obrázek 9, Obrázek 10). Rotace u paty sloupu slouží nejčastěji k přestavení mezi přídavnými zařízeními.

Konstrukce pracoviště obsahuje tři pohyblivé osy, jenž přináší vyšší energetickou náročnost a další části (motor, převodovka, ložisko) ovlivňující celkovou cenu pracoviště.

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

### Technické parametry:

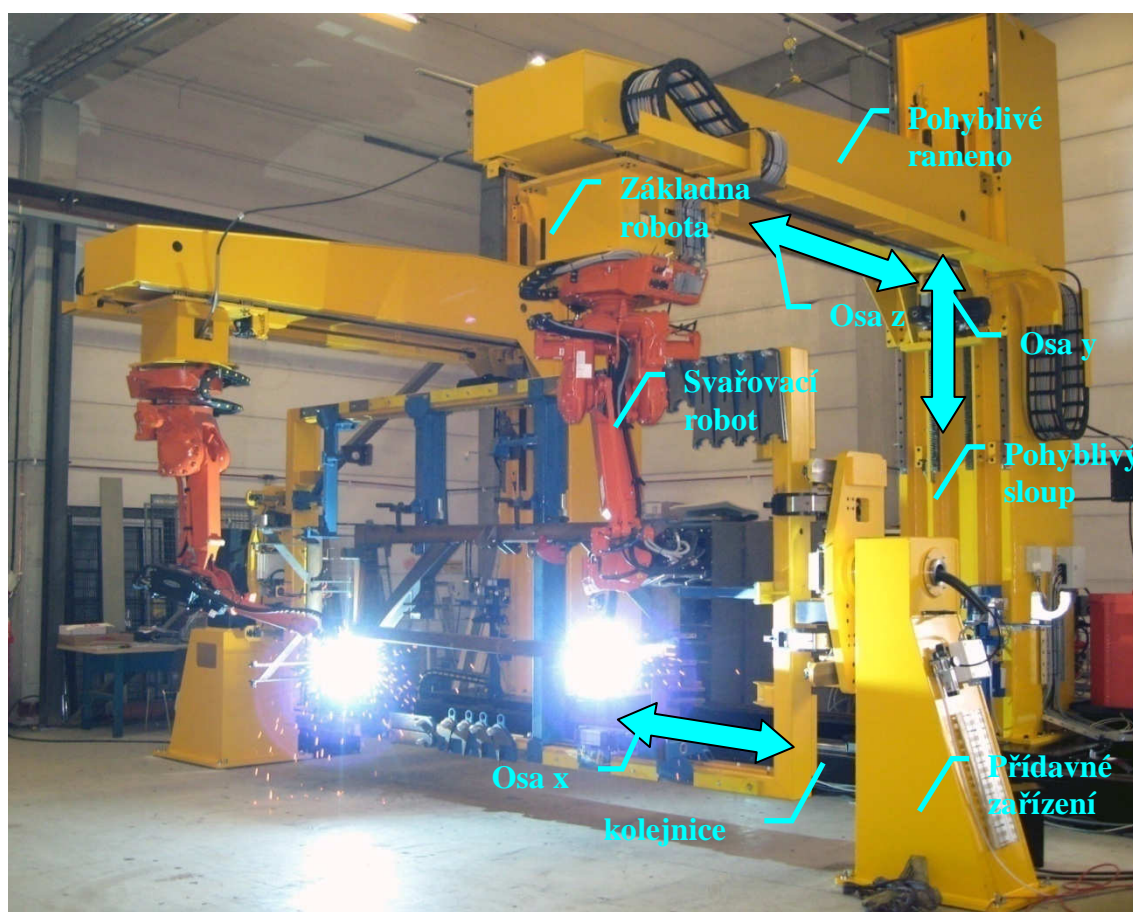
Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	5,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose x [m/min]:	6,4
Příkon pro osu x [kVA]:	7,5
Rychlost pohybu v ose y [m/min]:	30



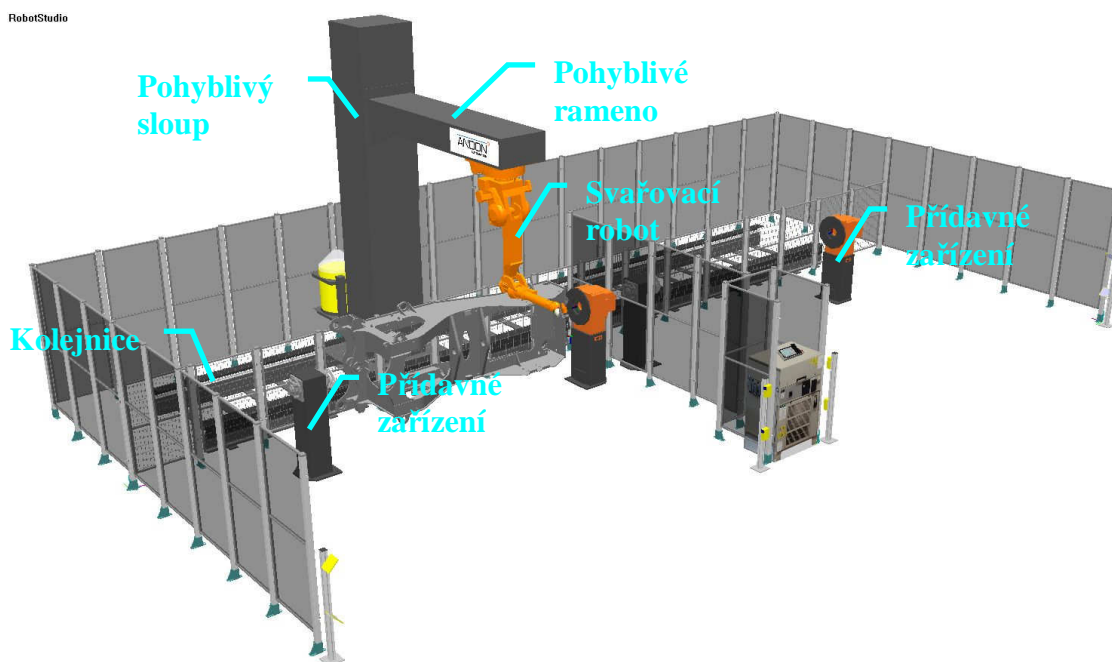
Příkon pro osu y [kVA]:	2,5
Rychlost otáčení [°/s]:	50
Příkon pro otáčení [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	1400
Hmotnost sloupu s ramenem [kg]:	6000

### 3.3.2. Pracoviště s posuvem v ose x, v ose y a v ose z

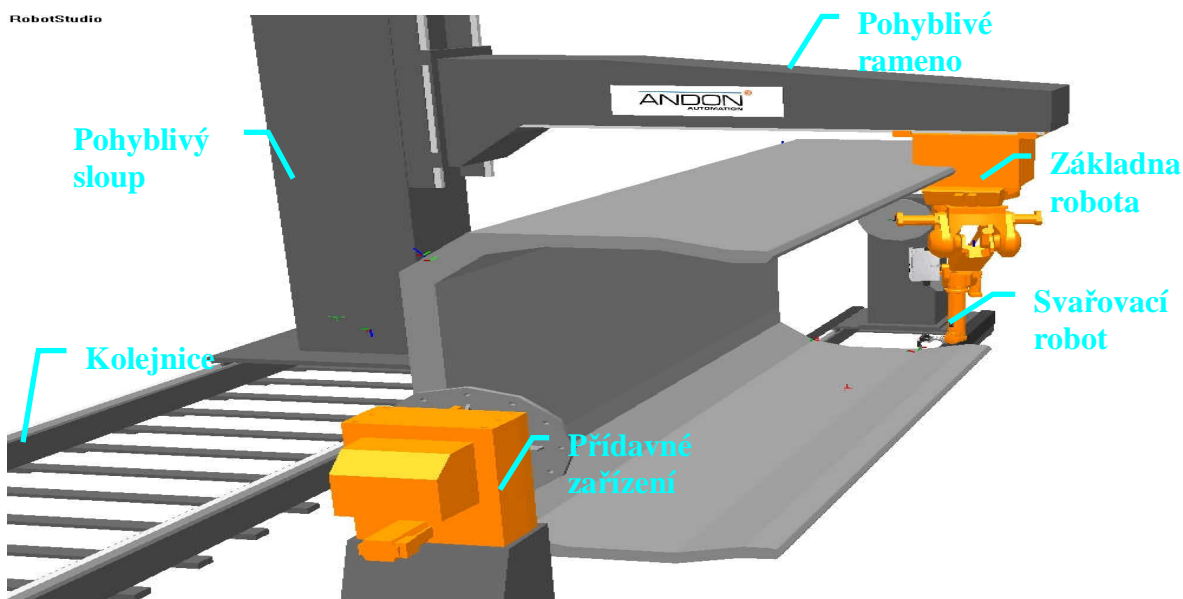
#### Modifikace 1:



Obrázek 11 – pracoviště se dvěma roboty [15]



Obrázek 12 – pracoviště s jedním robotem a dvěmi přídavnými zařízeními [15]



Obrázek 13 – pracoviště pro svařování dlouhých svařenců [15]

Jedna z nejčastěji používaných konstrukcí. Posuvy realizované ve třech osách dávají robotu velké pracovní rozsahy. Spolu s přídavným zařízením je schopen zvládat nejsložitější svařovací operace. Používají se také pracoviště s více roboty (Obrázek 11) pro zrcadlově stejné svařence. V dalším případě dominuje délka nad ostatními



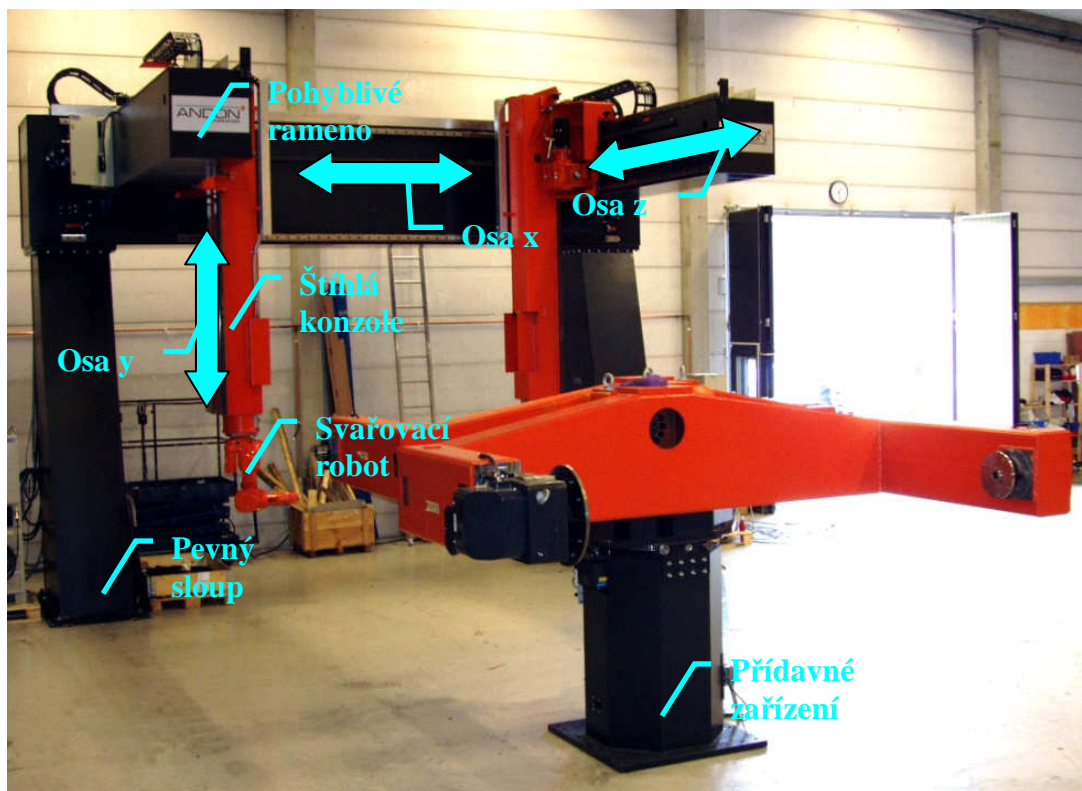
parametry a tak se využívá zařazení několika pracovišť za sebou (Obrázek 12). Na posledním obrázku (Obrázek 13) je ukázka svařování dlouhých dílců.

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

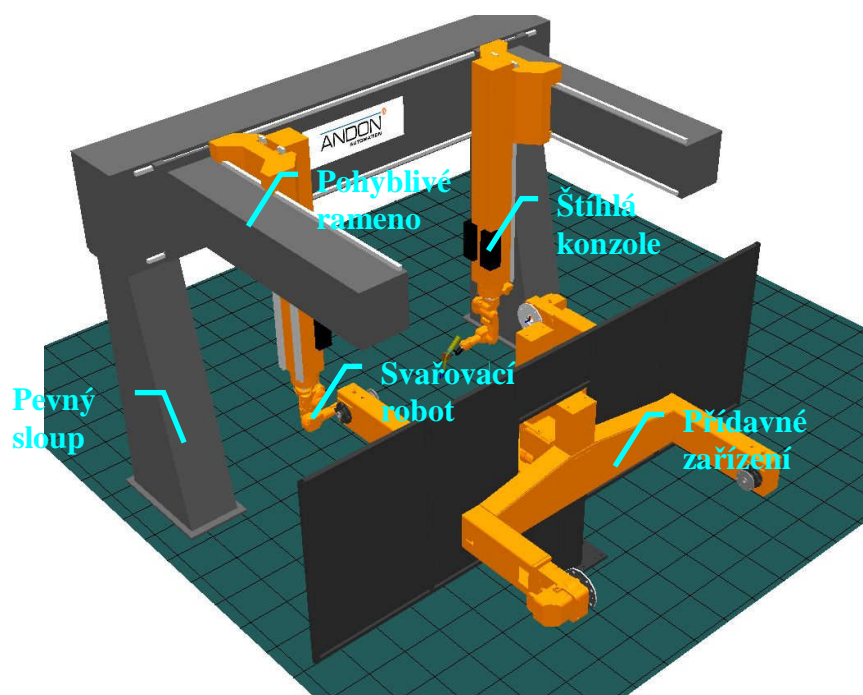
**Technické parametry:**

Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	5,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose x [m/min]:	6,4
Příkon pro osu x [kVA]:	7,5
Rychlost pohybu v ose y [m/min]:	30
Příkon pro osu y [kVA]:	2,5
Rychlost pohybu v ose z [m/min]:	30
Příkon pro osu z [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	1400
Hmotnost sloupu s ramenem [kg]:	6000

**Modifikace 2:**



Obrázek 14 – reálné pracoviště se dvěma roboty na štíhlé konzole [15]



Obrázek 15 – 3D model pracoviště se dvěma roboty na štíhlé konzole [15]

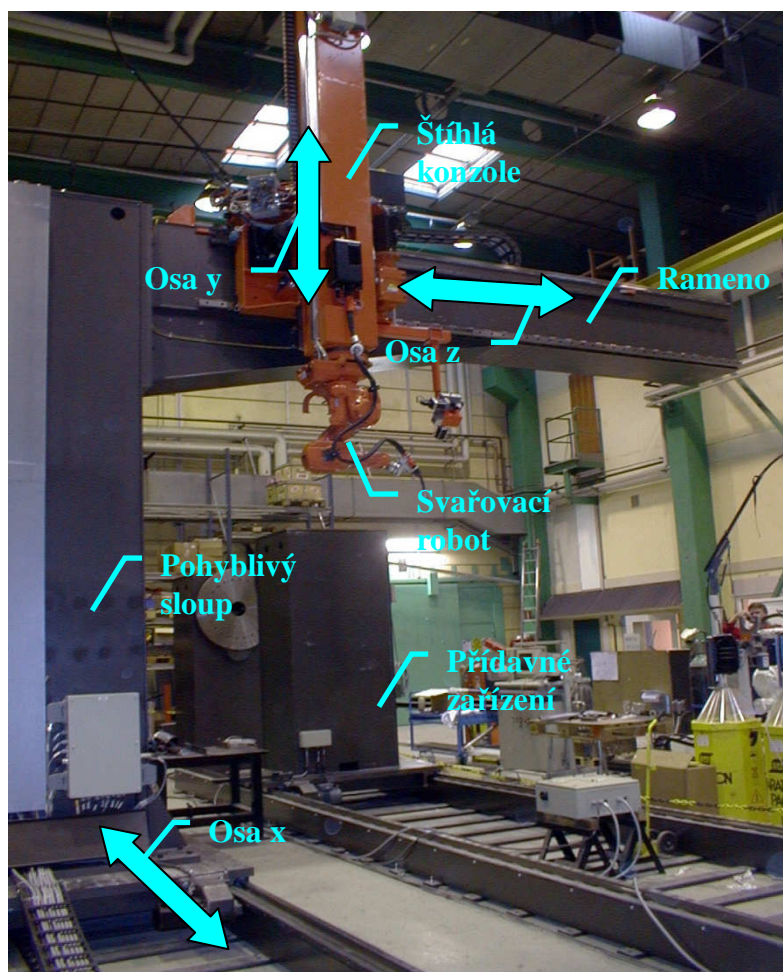
Dlouhý pojezd v ose y spolu se štíhlou konstrukcí této osy umožňuje dlouhé svarové spoje v poměrně úzkých dutinách. Používají se také ke svařování symetrických svařenců (Obrázek 14, Obrázek 15). Kombinují se s přídatným zařízením (otočný stůl, pojízdný pás), které umožňuje svařování na více pozicích.

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

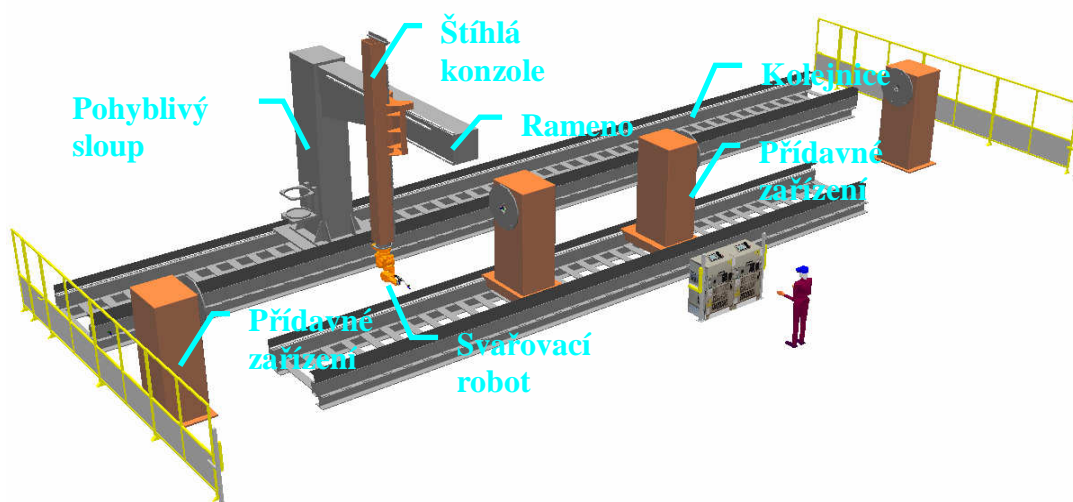
**Technické parametry:**

Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	5,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose x [m/min]:	30
Příkon pro osu x [kVA]:	5
Rychlost pohybu v ose y [m/min]:	30
Příkon pro osu y [kVA]:	2,5
Rychlost pohybu v ose z [m/min]:	30
Příkon pro osu z [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	2400
Hmotnost konzole [kg]:	1000

**Modifikace 3:**



Obrázek 16 – reálné pracoviště, robot na konzole zavěšený na rameno z boku [15]



Obrázek 17 – 3D model [15]

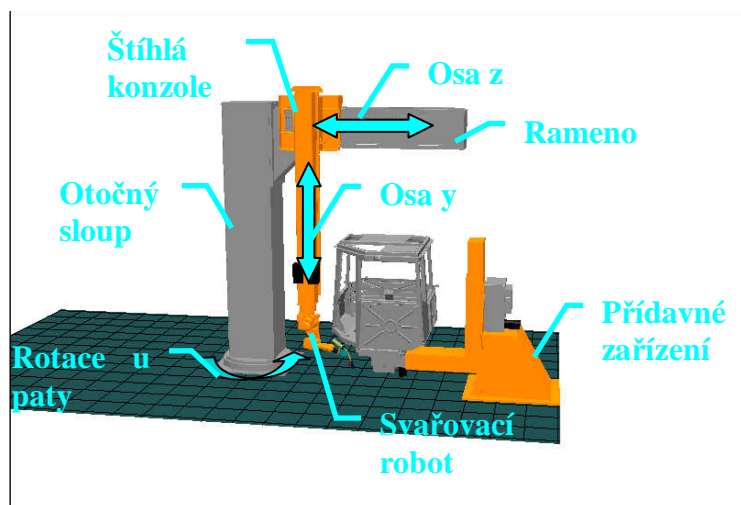
Pojezd v ose x se uskutečňuje po podlaze (Obrázek 16) a ne v zavěšení jako v předchozím případě. To umožňuje umístit několik pracovišť za sebou (Obrázek 17) a svařovat tak podstatně delší svařence, jak na povrchu, tak i uvnitř svařence.

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

#### Technické parametry:

Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	5,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose x [m/min]:	6,4
Příkon pro osu x [kVA]:	7,5
Rychlost pohybu v ose y [m/min]:	30
Příkon pro osu y [kVA]:	2,5
Rychlost pohybu v ose z [m/min]:	30
Příkon pro osu z [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	2400
Hmotnost konzole [kg]:	1000
Hmotnost sloupu s ramenem [kg]:	6000

#### 3.3.3. Pracoviště s rotací u paty sloupu, s posuvem v ose y a v ose z



Obrázek 18 – pracoviště pro svařování kabin [15]

Je možno umístit několik pracovišť kolem sloupu. K přestavení mezi jednotlivými pracovišti slouží rotace u paty sloupy. Díky dlouhému pojezdu v ose y a štíhlé konstrukci této osy se používají k dlouhým svarovým spojům na povrchu i uvnitř svařenců. Nejčastěji se používají pro svařování kabin pro pracovní techniku (Obrázek 18).

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

#### **Technické parametry:**

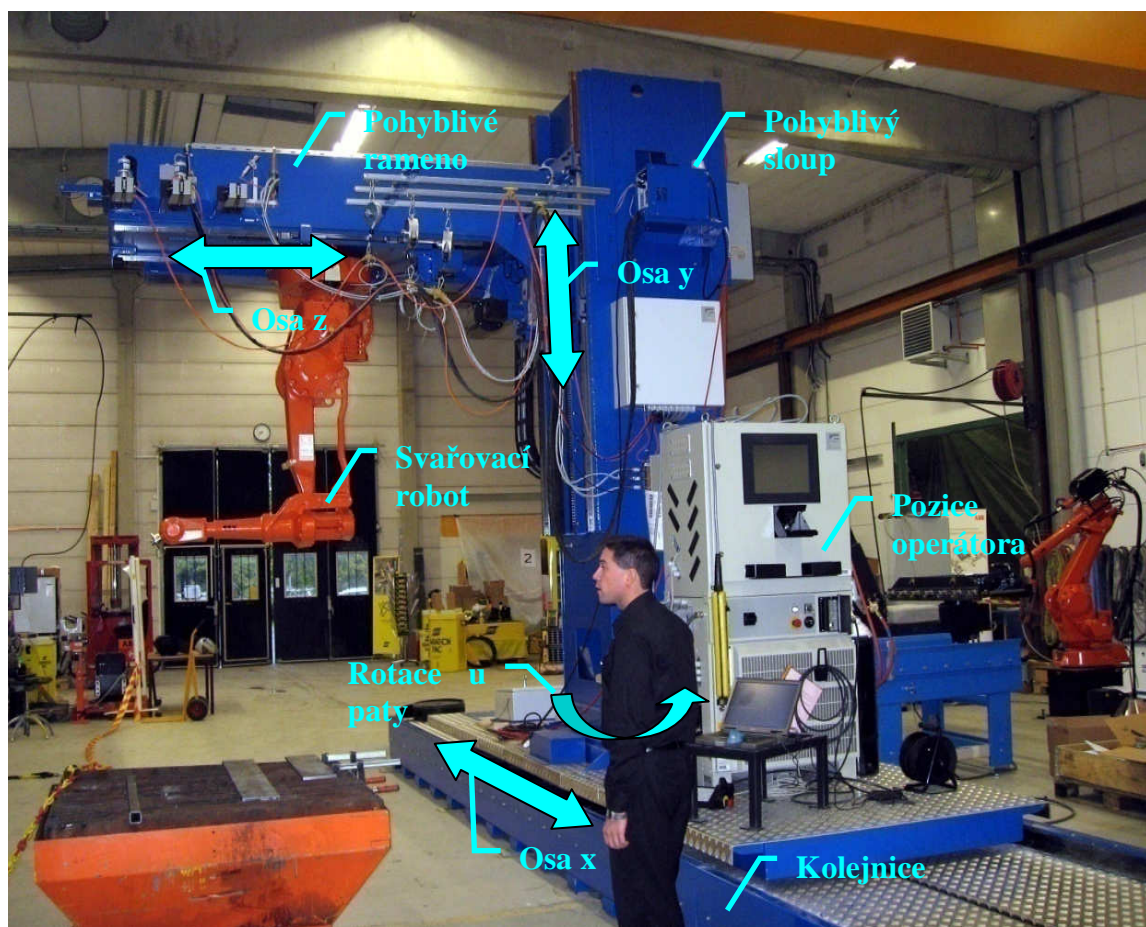
Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	5,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose y [m/min]:	30
Příkon pro osu y [kVA]:	2,5
Rychlost pohybu v ose z [m/min]:	30
Příkon pro osu z [kVA]:	2,5
Rychlost otáčení [ $^{\circ}$ /s]:	50
Příkon [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	2400
Hmotnost konzole [kg]:	1000
Hmotnost sloupu s ramenem [kg]:	6000

### **3.4. Pracoviště se čtyřmi pohyby (bez pohybů robota)**

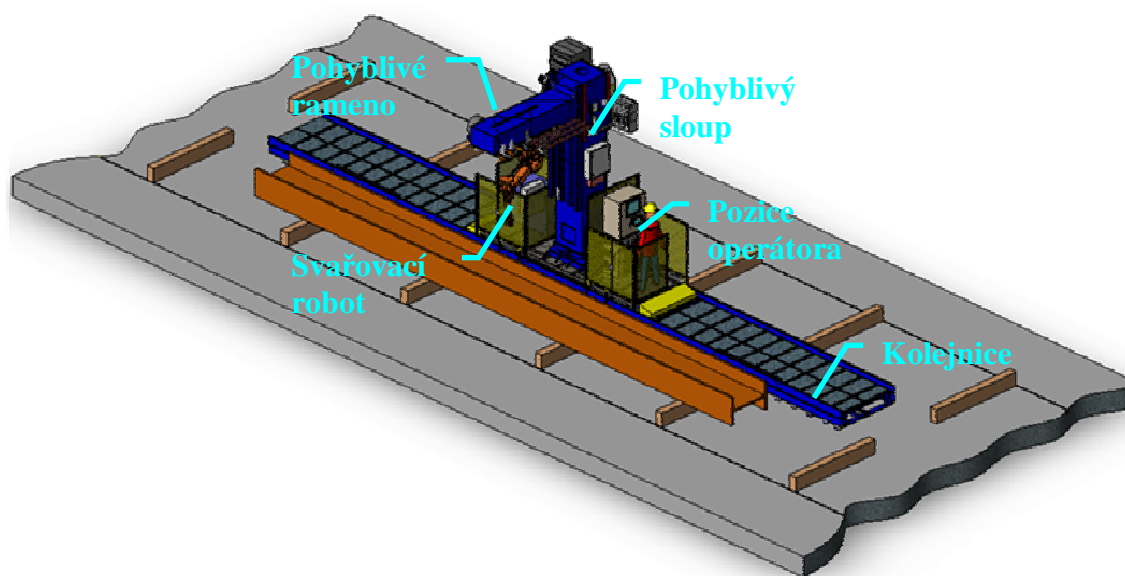
Používají se pro svařování nejrozměrnějších konstrukcí. Hmotnost svařované konstrukce již bývá značně vysoká, a tudíž se nepoužívá dalšího přídavného zařízení. Příliš velká délka neumožňuje umístění pracovišť za sebou, a proto se využívá rotace u paty sloupu k otočení k pracovišti ležícím na druhé straně (Obrázek 20). Použití dvou pracovišť se stává nutností pro minimalizaci vedlejších pracovních časů, neboť manipulace s tak rozměrným svařencem trvá dlouhou dobu.



Pracoviště s rotací u paty sloupu, posuvem v ose x, v ose y a v ose z.



Obrázek 19 – reálné pracoviště, pozice pro operátora pevně spojena se sloupem [15]



Obrázek 20 – 3D model [15]

Realizuje se také dvojí způsob umístění operátora. Pozice operátora je umístěno mimo svařovací pracoviště. Pozice operátora je umístěno u sloupu a pohybuje se s ním (Obrázek 19). Operátor má lepší přehled o činnosti zařízení a možnosti kolizí.

Společnosti zabývající se touto problematikou, jsou např.: Andon automation, Cloos, Kuka, Reis robotics.

**Technické parametry:**

Délka ramene [m]:	3
Výška sloupu [m]:	5,5
Opakovatelná přesnost [mm]:	$\pm 0,1$
Rychlost pohybu v ose x [m/min]:	6,4
Příkon pro osu x [kVA]:	7,5
Rychlost pohybu v ose y [m/min]:	30
Příkon pro osu y [kVA]:	2,5
Rychlost pohybu v ose z [m/min]:	30
Příkon pro osu z [kVA]:	2,5
Rychlost otáčení [ $^{\circ}$ /s]:	50
Příkon [kVA]:	2,5
Hmotnost ramene [kg]:	2400
Hmotnost sloupu s ramenem [kg]:	8000



## 4. Technická specifikace otočného stojanu

### 4.1. Požadovaná technická specifikace

Otočný stojan, jako přídatné zařízení pro svařovacího robota, se ve výrobním procesu uplatní pro svařence středně velkých rozměrů. Požaduje se, aby byl stojan universálním zařízením, to znamená, že je omezen pouze maximálním pracovním prostorem.



Obrázek 21 - rám podvozku nákladního vlaku [15]

Oblast maximálního pracovního prostoru je stanovena svařencem velikosti rámců podvozků vlaků o rozměrech 20x3x3 metrů. Na (Obrázek 21) je rám uchycený v manipulačním otočném zařízení. Na tomto pracovišti se vyžaduje schopnost pracovat ve vertikálním i horizontálním natočení.

Minimální pracovní prostor je omezen svařencem trubkového rámu automobilu a vzhledem k technologii svařování je požadován nulový pracovní prostor. Pracovní prostor se nachází 0,5 metru nad podlahou, aby bylo možné se svařencem manipulovat.

Otočný stojan musí být schopen přemístění k dalšímu pracovišti, přičemž není pevně stanoveno, zda jsou jednotlivá pracoviště uspořádána vedle sebe nebo za sebou.

Při návrhu pohonů je požadováno maximálně využít pohony firmy ABB kvůli snadnému připojení k řídicímu systému.

Otočný stojan musí mít dostatečnou tuhost, aby nedocházelo ke kmitání konstrukce.

V neposlední řadě musí být vyřešeno vedení energetických kabelů a umístění dvou zásobníků drátu pro svařovacího robota.

## **4.2. Definice pracovního a operačního prostoru**

Pracovní prostor je množina všech bodů v prostoru, kam je pracovní hlavička (koncový bod hořáku) schopna dosáhnout. Požadovaný pracovní prostor se nachází 0,5metrů nad podlahou a jeho rozměry jsou 20x3x3 metry.

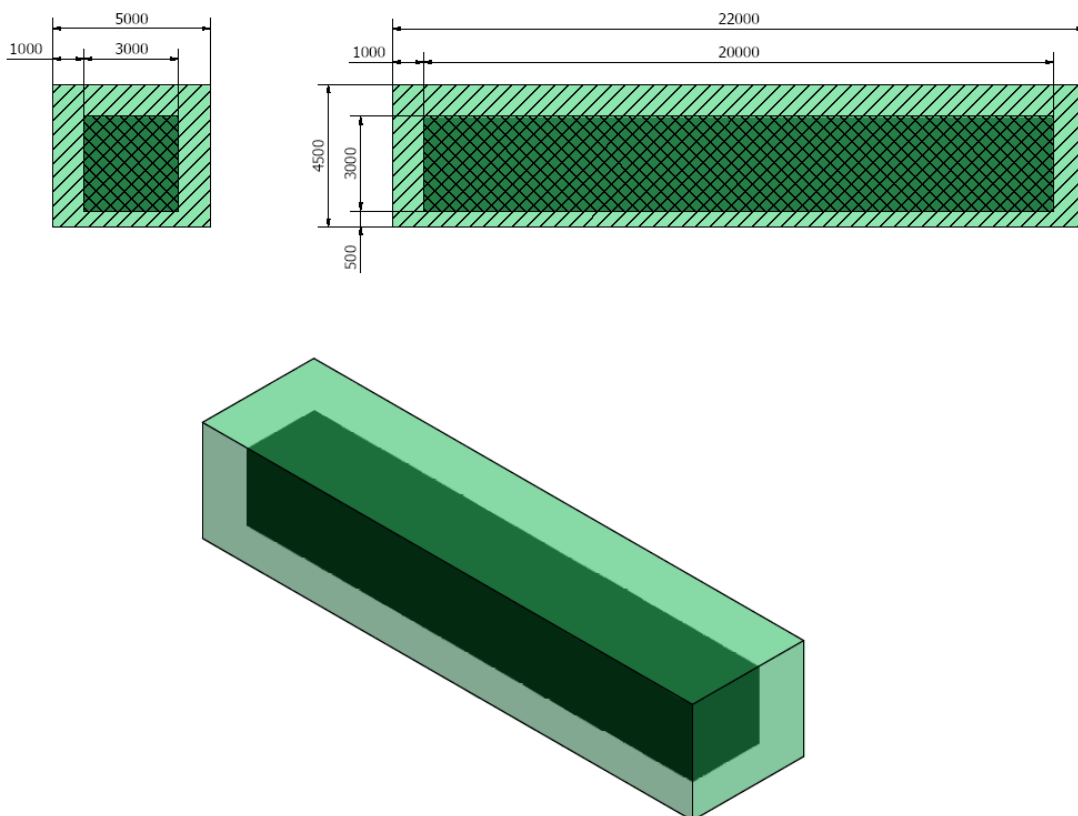
Předpokládá se použití manipulačního zařízení pro svařenec z důvodu přístupu ke všem svařovacím místům.

Aby byl robot schopen přestavování do různých svařovacích poloh a nedocházelo tak ke vzniku kolizí, je nutné zachovat minimální vůli mezi pracovním prostorem a stojanem. Robot pro svoji vlastní manipulaci potřebuje 0,75metru. Z hlediska bezpečnosti volím minimální vůli 1metr.

Operační prostor je množina bodů, kterou opisuje konstrukce zařízení při činnosti v pracovním prostoru. Ten se bude lišit podle zvoleného typu konstrukce.

Na (Obrázek 22) je znázorněn pracovní prostor tmavě-zelenou barvou a operační prostor robota světle-zelenou barvou.

Svařence budou svařovány na povrchu. Svařování v dutinách je omezeno rozměry robota a jeho pracovními rozsahy.



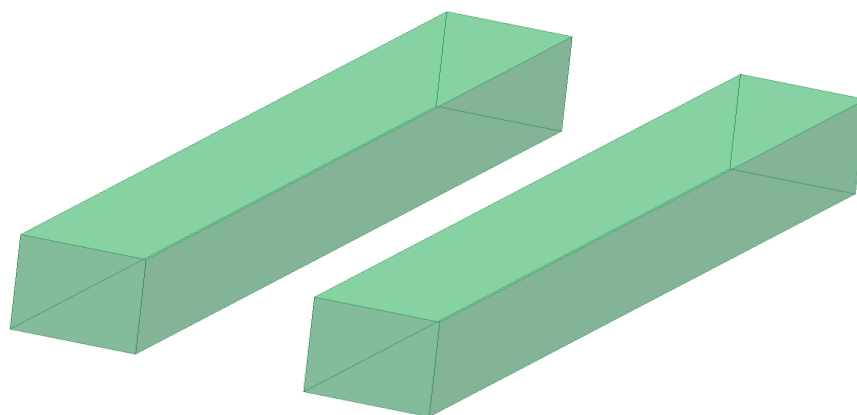
Obrázek 22 – pracovní a operační prostor

### 4.3. Stanovení kinematiky

Z požadavků na pracovní prostor plyne počet nutných pohybů otočného stojanu. Stojan se bude pohybovat v ose x na délce 22metrů, v ose y se uskutečňuje zdvih dlouhý 3,5metru, v ose z je posuv dlouhý 3metry a dále je požadována rotace kolem vlastní osy stojanu.

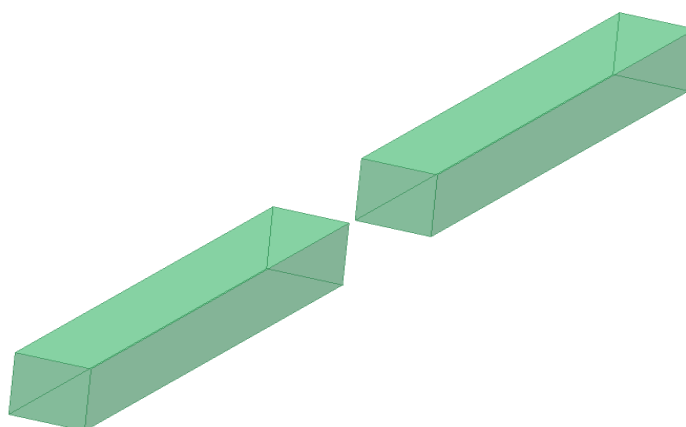
### 4.4. Uspořádání pracovišť

Pracoviště je možné uspořádat vedle sebe (Obrázek 23), tento typ uspořádání je vhodný pro dlouhé svařovací časy a krátké manipulační časy se svařencem. Čas manipulace se svařencem by měl být kratší než čas svařování.



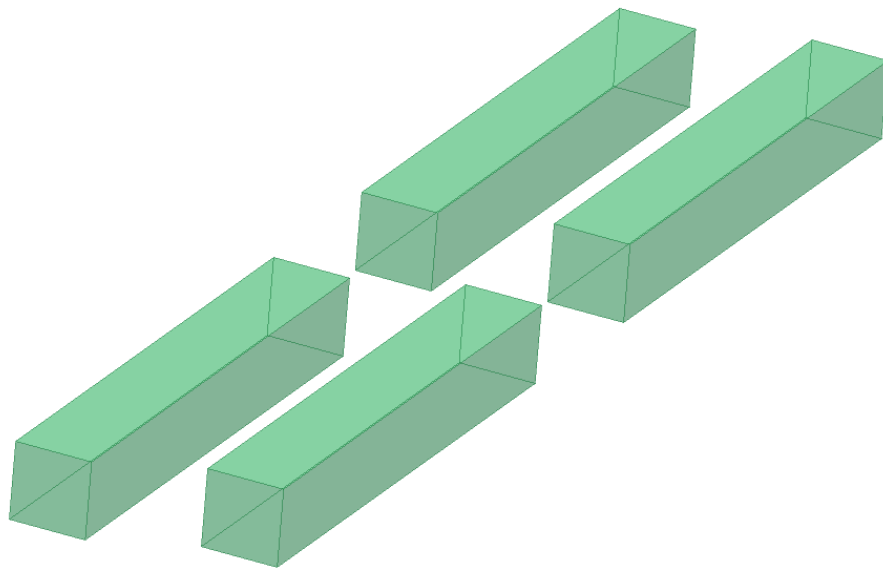
Obrázek 23 - pracoviště vedle sebe

Pracoviště uspořádané za sebou (Obrázek 24) ve statické podobě musí také splňovat podmínku, že čas manipulace se svařencem je menší než svařovací čas. Pro manipulaci se svařencem je vhodné použít pásový dopravník.



Obrázek 24 - pracoviště za sebou

Pracoviště složené kombinací pracovišť vedle sebe a za sebou (Obrázek 25) je vhodné použít u složitých svařenců, kde je doba manipulace delší než doba svařování. Jedná se tak o vhodný typ universálního pracoviště.

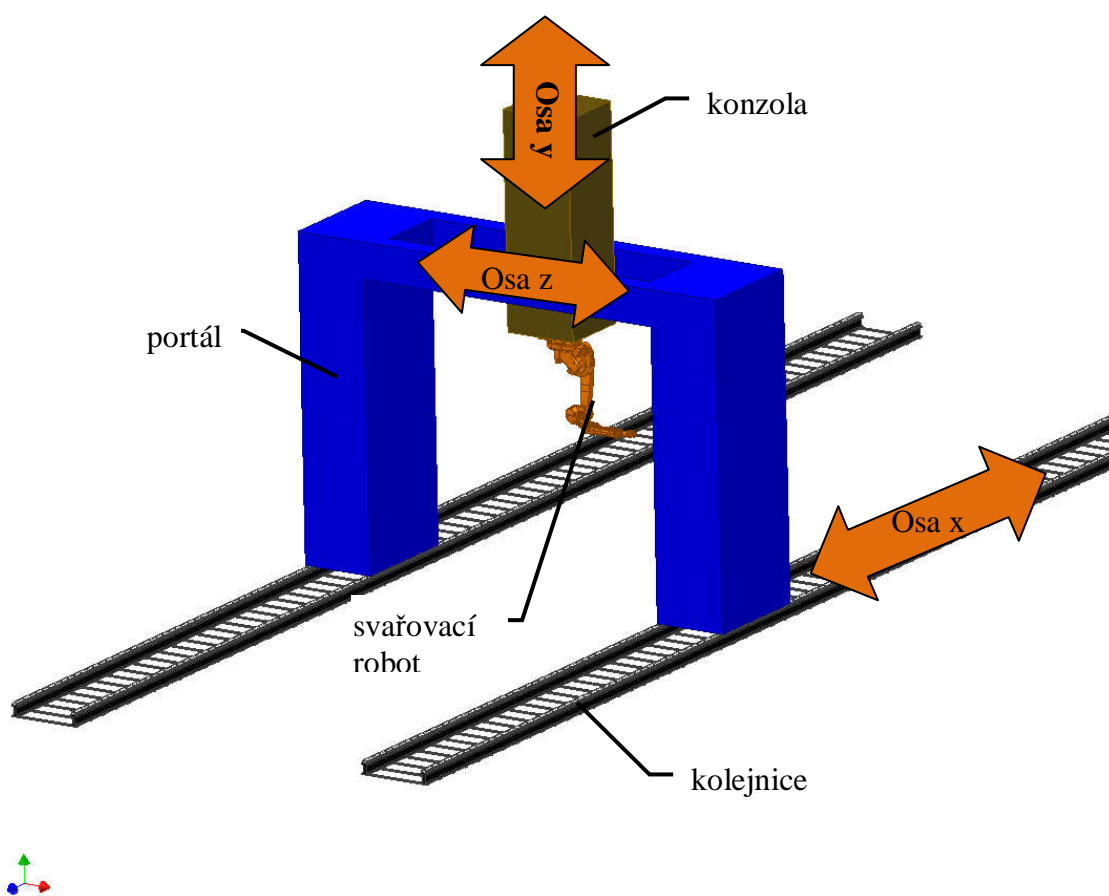


**Obrázek 25 - kombinace pracovišť**

## 5. Návrh a volba kinematických variant

### 5.1. Přehled a popis variant

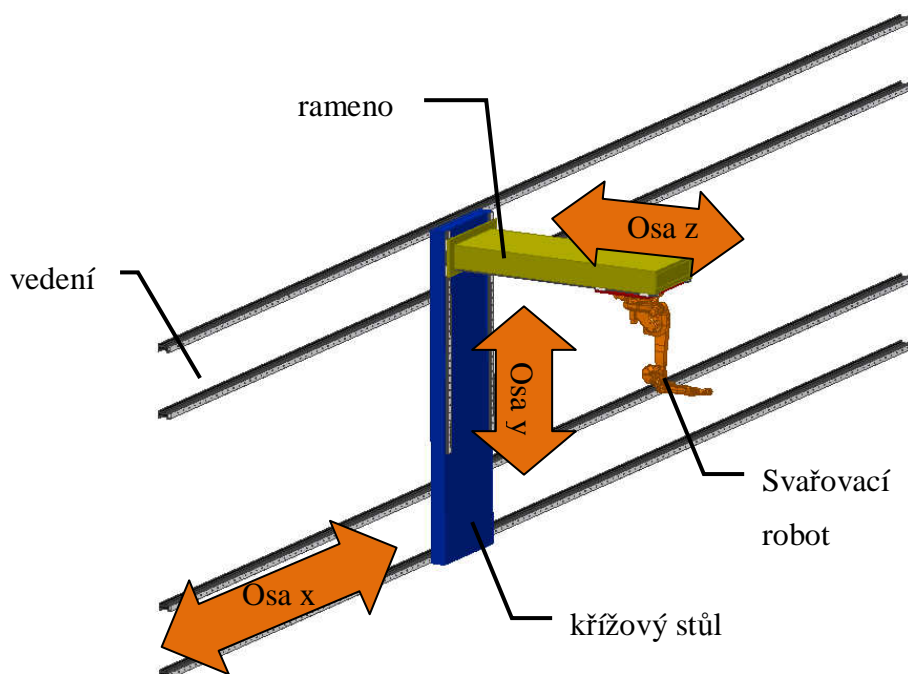
#### 5.1.1. Portálová konstrukce



Obrázek 26 – portálové uspořádání

Jedná se o portálovou konstrukci (Obrázek 26) pohybující se po kolejnicích. Více pracovišť je zde možné realizovat pouze v uspořádání za sebou, bylo by možné navrhnout i pracoviště vedle sebe, to by však znamenalo masivní zvetšení celé konstrukce a tudíž i značné prodražení. Robot je umístěn na výsuvné konzole, která koná další dva pohyby. Rotaci zde zajišťuje vlastní pohyb robota.

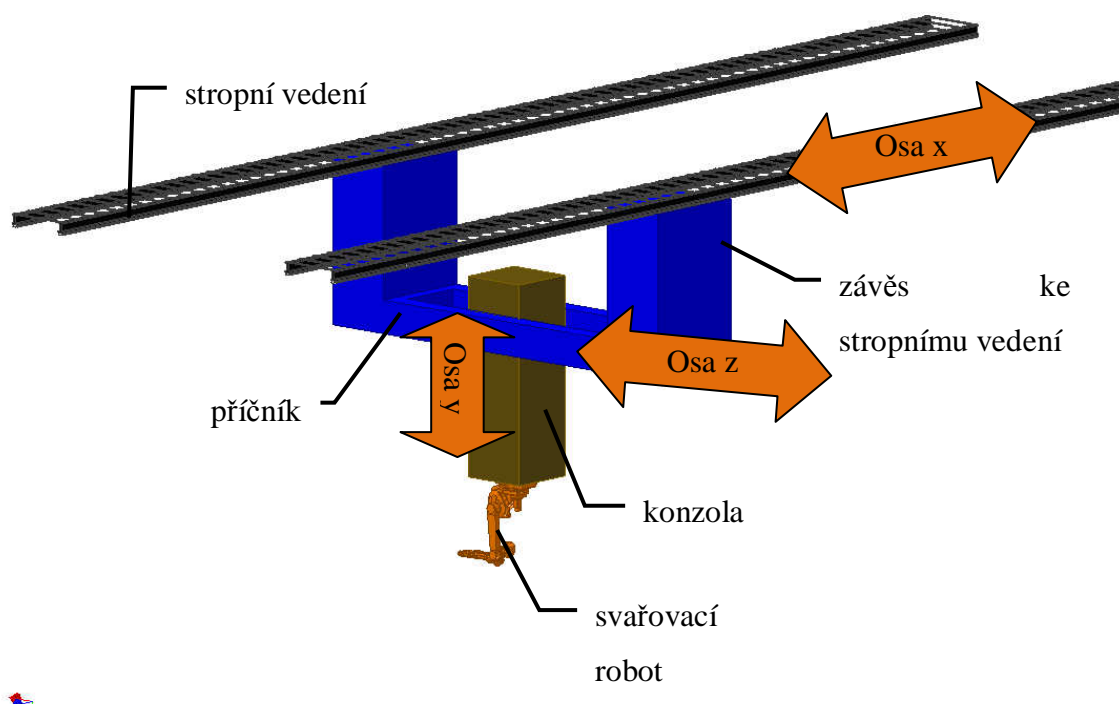
### 5.1.2. Zavěšení na křížovém stole



Obrázek 27 – zavěšení na křížovém stole

Jak je patrné z (Obrázek 27) , sloup nevyužívá ke svému pohybu podlahu nýbrž stěnu. Rotace je tedy uskutečněna pomocí robota, stůl má však vůči portálové variantě příznivější dynamické vlastnosti. Pracoviště jsou realizovány v uspořádání za sebou. Využití stěny k pohybu nese další nároky na konstrukci samotné dílny. Je možné provést modifikaci a ulevit tak nárokům na stěnu. Stůl se místo zavěšení podepře posuvem ze spodní strany a stěna se využije pouze jako vedení.

### 5.1.3. Jeřábová konstrukce

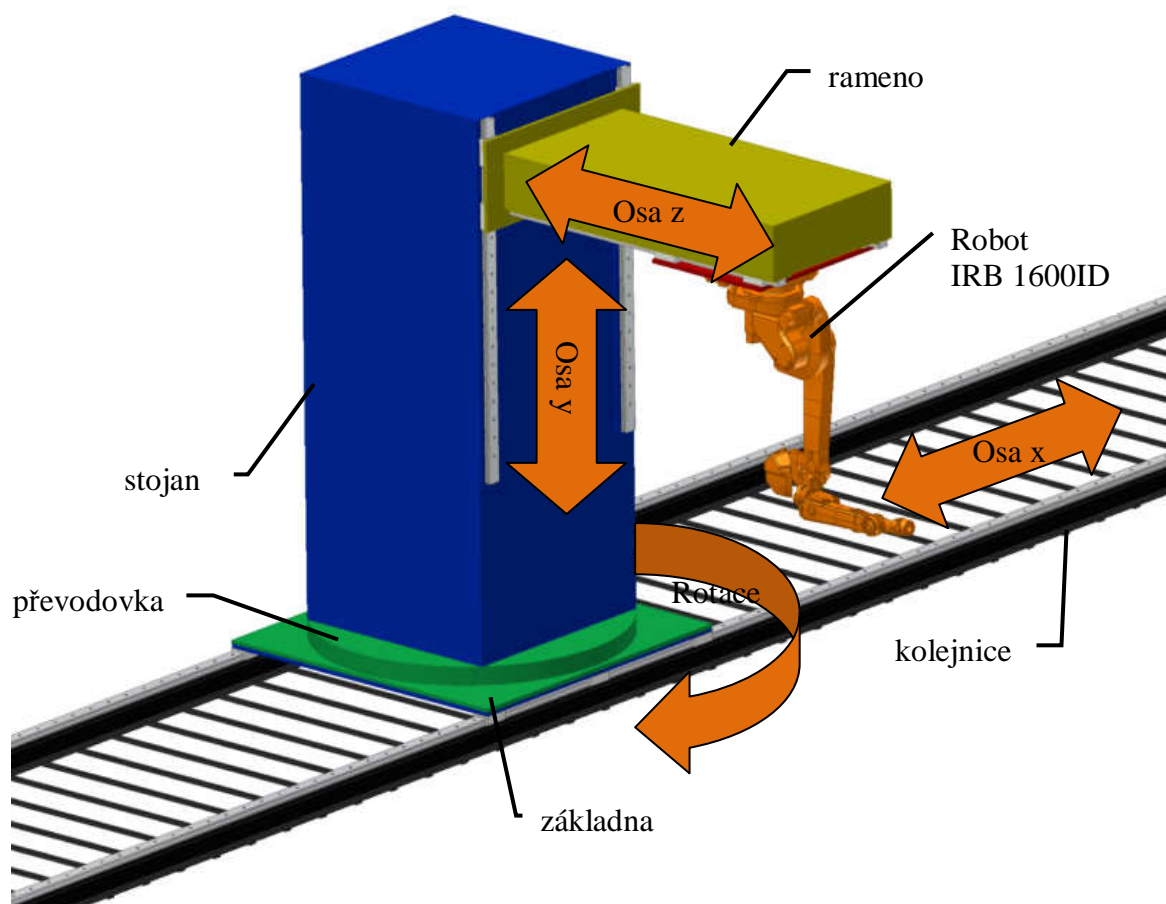


Obrázek 28 – jeřábová konstrukce

Tato varianta (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) využívá stropní konstrukce pro zavěšení a pohybu po ní. Další dva pohyby vykonává konzola a rotace je vykonávána vlastním pohybem robota. Pracoviště je nejvýhodnější umístit za sebou. Tento typ uspořádání je vhodné realizovat v budovách, kde bylo počítáno s podobným typem zařízení, jako jsou např. manipulační zařízení.



#### 5.1.4. Stojan s ramenem na otočné desce



Obrázek 29 – sloup s ramenem na otočné desce

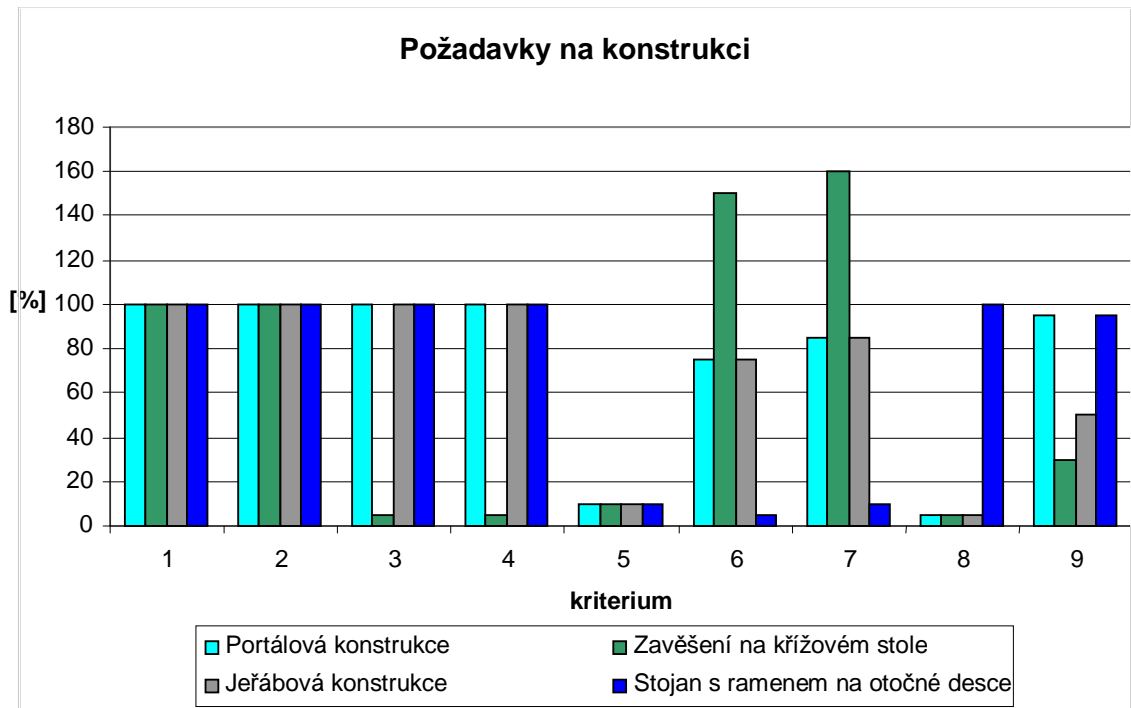
Na tomto typu pracoviště jsou umožněny tři přímočaré vratné pohyby a jedna rotace. Jeden přímočarý vratný pohyb se uskutečňuje mezi základní deskou a lineárním vedením na I-profilu a vyvozuje se posuv v ose x. Druhý přímočarý vratný pohyb koná horizontální rameno a tím je umožněn posuv v ose y. Třetí přímočarý vratný pohyb v ose z koná deska robota na níž je zavěšen samotný svařovací robot. Rotace se uskutečňuje mezi základní deskou a sloupem. Pracoviště můžou být umístěna buď vedle sebe, za sebou nebo jejich kombinací.

## 5.2. Zhodnocení a volba kinematické varianty.

Varianta v podobě portálové konstrukce má dobrou tuhost a přesnost. Jelikož se však zabýváme technologií svařování, kde nevznikají síly jako při obrábění a není nutná přesnost jako při obrábění, dále není možné uskutečnit rotaci sloupu na portálové konstrukci a proto je tento typ konstrukce nevhodný. Varianta s křížovým stolem a jeřábovou konstrukcí využívá konstrukci budovy, to nám přináší značné omezení v jakých prostorech by se tyto návrhy realizovaly. Opět není možné uskutečnit rotaci sloupu. Z hlediska universálnosti nejsou tyto konstrukce vhodným typem řešení. Sloup s ramenem na otočné desce přináší do řešené problematiky další pohled. Je universálním typem v uspořádání pracovišť. Svými pohyby vyplní požadovaný pracovní prostor. Nezatěžuje konstrukci stěny a stropu. Tento typ uspořádání bude nejvíce náchylný ke kmitání, daný problém bude řešit vhodná konstrukce sloupu.

### *Porovnání jednotlivých variant (kritérium)*

1. Schopnost obsáhnout požadovaný pracovní prostor
2. Možnost uspořádat pracoviště za sebou
3. Možnost uspořádat pracoviště vedle sebe
4. Možnost uspořádat pracoviště za sebou a vedle sebe
5. Zvětšení konstrukce při více pracovištích stejné velikosti za sebou
6. Zvětšení konstrukce při více pracovištích stejné velikosti vedle sebe
7. Zvětšení konstrukce při více pracovištích stejné velikosti za sebou a vedle sebe
8. Možnost otáčení celé konstrukce
9. Možnost provozu v různých typech hal



Obrázek 30-graf požadovaných kritérií

Dále se budu zabývat variantou 5.1.4. Stojan s ramenem na otočné desce.

## 6. Návrhové výpočty

### 6.1. Návrh osy Z

V ose Z je umístěn robot se základnou a pohybuje se po ramenu pomocí kuličkového šroubu, základna s robotem je na rameni uložena v lineárním vedení.

Požadovaná rychlost posuvu  $v_3=30\text{m/min}$ , požadované zrychlení  $a_3=1\text{m/s}^2$ .

#### 6.1.1. Volba kuličkového šroubu

Kuličkové šrouby jsou voleny podle katalogu a postupů výpočtů firmy KSK. Kuličkové šrouby pro osu Z voleny podle analogického postupu (horizontální).

#### *Požadované parametry v ose Z*

$F_j$	síla na šroub [N]	$v_j$	rychlost posuvu [m/min]	$q_j$	časové využití [%]
$F_{\text{DYN}}$	500	$v_{\text{DYN}}$	15	$q_{\text{DYN}}$	10
$F_{\text{man}}$	100	$v_{\text{man}}$	30	$q_{\text{man}}$	25
$F_{\text{prac}}$	100	$v_{\text{prac}}$	1,5	$q_{\text{prac}}$	65

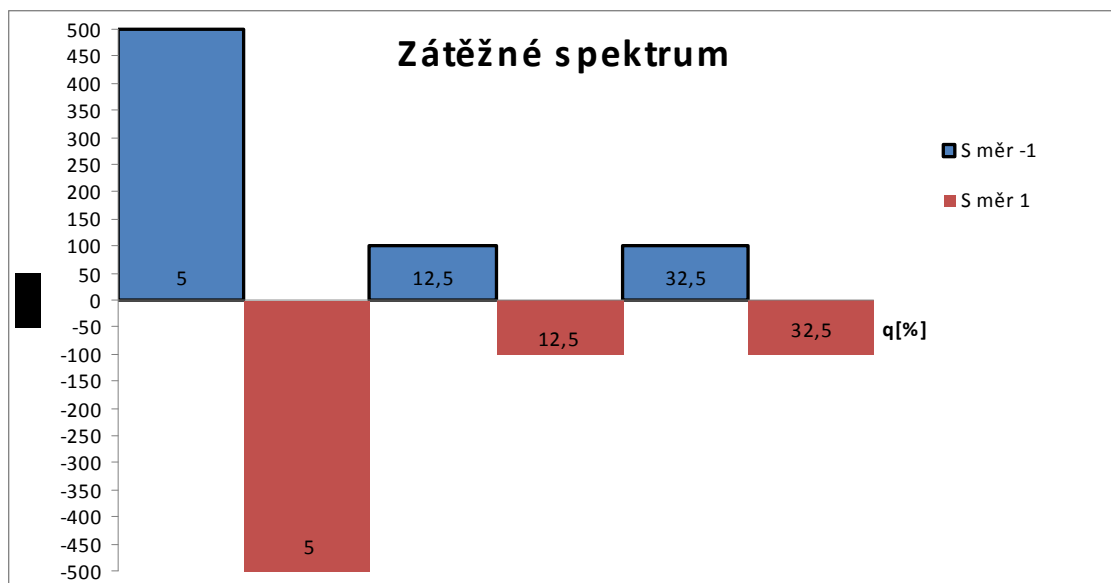
Tabulka 3 - síly působící na šroub

#### *Parametry kuličkového šroubu*

šroub	K 50 x 50
$i$ [-]	2,1
$Ca$ [N]	65000
$k$ [N/ $\mu\text{m}$ ]	1100
$h_3$ [mm/ot]	50
$h_3$ [mm/rad]	7,957747
$d$ [mm]	50
$l$ [mm]	3000
$J_s$ [kgm <sup>2</sup> ]	0,014438
$L_{h\dot{s}}$ [hodin]	20000
$f_{a95}$ 95%	0,62
$f_v$	0,5
$f_N$	15
$n_{\text{min}}$ [ot/min]	600
$M_k$ [Nm]	0,795775

Tabulka 4 - KŠ 50x50

### Graf jednotlivých sil působících v čase



Obrázek 31 - graf zatížení

### Výpočty ekvivalentních otáček

$$n_m = \sum \frac{q_j}{100} \cdot n_j \quad ; \text{kde } q_j - \text{Tabulka 3 (sloupec 6)} \quad \text{Rovnice 1}$$

$$n_j = \frac{v_j}{h_3} \quad ; \text{kde } v_j - \text{Tabulka 3 (sloupec 4); } h_3 - 50 \text{ mm/ot} \quad \text{Rovnice 2}$$

$$n_m = \frac{15 \cdot 10 + 30 \cdot 25 + 1,5 \cdot 65}{100 \cdot 50} \cdot 1000 = 199,5 \text{ ot / min}$$

### Výpočty ekvivalentního zatížení

$$F_{m(i)} = \sqrt[3]{\sum F_{aj}^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100}} \quad ; \text{kde } n_j = \frac{v_j}{h_3} \quad ; \text{kde } v_j - \text{Tabulka 3 (sloupec 4); } h_3 - 50 \text{ mm/ot} \quad \text{Rovnice 2; } q_j - \text{Tabulka 3 (sloupec 6)}$$

$$F_{aj} = F_v \cdot \left( 1 + \frac{F_j}{2,83 \cdot F_v} \right)^{3/2} \quad ; \text{kde } F_j - \text{Tabulka 3 (sloupec 2)} \quad \text{Rovnice 4}$$

$$F_v = 0,1 \cdot C_a \quad ; \text{kde } C_a - \text{Tabulka 4 (řádek 3)} \quad \text{Rovnice 5}$$

Předpětí (dosazení do  $F_v = 0,1 \cdot C_a$  ;kde  $C_a$ -Tabulka 4 (řádek 3) Rovnice 5):

$$F_v = 0,1 \cdot 65000 = 6500N$$

Vnitřní axiální zatížení (dosazení do  $F_{aj} = F_v \cdot \left(1 + \frac{F_j}{2,83 \cdot F_v}\right)^{3/2}$  ;kde  $F_j$ -Tabulka 3

(sloupec 2) Rovnice 4):

$$F_{a(1)DYN} = 6500 \cdot \left(1 + \frac{500}{2,83 \cdot 6500}\right)^{3/2} = 6767N$$

$$F_{a(-1)DYN} = 6500 \cdot \left(1 + \frac{-500}{2,83 \cdot 6500}\right)^{3/2} = 6237N$$

$$F_{a(1)man} = 6500 \cdot \left(1 + \frac{100}{2,83 \cdot 6500}\right)^{3/2} = 6553N$$

$$F_{a(-1)man} = 6500 \cdot \left(1 + \frac{-100}{2,83 \cdot 6500}\right)^{3/2} = 6447N$$

$$F_{a(1)prac} = 6500 \cdot \left(1 + \frac{100}{2,83 \cdot 6500}\right)^{3/2} = 6553N$$

$$F_{a(-1)prac} = 6500 \cdot \left(1 + \frac{-100}{2,83 \cdot 6500}\right)^{3/2} = 6447N$$

$F_{a(1)DYN} [N]$	6767	$F_{a(-1)DYN} [N]$	6237
$F_{a(1)man} [N]$	6553	$F_{a(-1)man} [N]$	6447
$F_{a(1)prac} [N]$	6553	$F_{a(-1)prac} [N]$	6447

Tabulka 5 - vnitřní axiální zatížení

Střední vnitřní axiální zatížení (dosazení do  $F_{m(i)} = \sqrt[3]{\sum F_{aj}^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100}}$  ;kde  $n_j$ -

$n_j = \frac{v_j}{h_3}$  ;kde  $v_j$ -Tabulka 3 (sloupec 4);  $h_3$ -50mm/otRovnice 2;  $q_j$ -Tabulka 3

(sloupec 6) Rovnice 3):

**Směr (1)**

$$F_{m(1)} = \sqrt[3]{6767^3 \cdot \frac{15}{9,975} \cdot \frac{5}{100} + 6553^3 \cdot \frac{30}{9,975} \cdot \frac{12,5}{100} + 6553^3 \cdot \frac{1,5}{9,975} \cdot \frac{32,5}{100}} = 6586N$$

**Směr (-1)**

$$F_{m(-1)} = \sqrt[3]{6237^3 \cdot \frac{15}{9,975} \cdot \frac{5}{100} + 6447^3 \cdot \frac{30}{9,975} \cdot \frac{12,5}{100} + 6447^3 \cdot \frac{1,5}{9,975} \cdot \frac{32,5}{100}} = 6416N$$

$F_{m(1)} [N]$	6586
$F_{m(-1)} [N]$	6416

Tabulka 6 – střední vnitřní axiální zatížení

**Kontrola životnosti na jednu matici**

$$L_i = \left( \frac{C_a \cdot f_m}{F_{m(i)}} \right)^3 \cdot 10^6 \quad ; \text{kde } C_a - \text{Tabulka 4 (řádek 3); } f_m = 1,25; F_{m(i)} - \text{Tabulka 6} \quad \text{Rovnice 6}$$

$$L_{hi} = \frac{L_i}{n_m} \quad ; \text{kde } n_m = 199,5 \text{ ot/min} \quad \text{Rovnice 7}$$

**Směr (1)**

$$L_1 = \left( \frac{65000 \cdot 1,25}{6586} \right)^3 \cdot 10^6 = 1877514794 \text{ ot.}$$

$$L_{h1} = \frac{1877514794}{199,5 \cdot 60} = 156852 \text{ hodin}$$

**Směr (-1)**

$$L_{-1} = \left( \frac{65000 \cdot 1,25}{6416} \right)^3 \cdot 10^6 = 2030540818 \text{ ot.}$$

$$L_{h-1} = \frac{2030540218}{199,5 \cdot 60} = 169636 \text{ hodin}$$

$L_1$ [otáčky]	1877514794	$L_{-1}$ [otáčky]	2030540818
$L_{h1}$ [hodin]	156852	$L_{h-1}$ [hodin]	169636

Tabulka 7 - životnost matice

### ***Kontrola celkové životnosti***

$$L = \left( L_1^{-\frac{10}{9}} + L_{-1}^{-\frac{10}{9}} \right)^{-\frac{9}{10}} \quad ; \text{kde } L_1, L_{(-1)} - \text{Tabulka 7} \quad \text{Rovnice 8}$$

$$L = \left( 1877514794^{-\frac{10}{9}} + 2030540818^{-\frac{10}{9}} \right)^{-\frac{9}{10}} = 648174657 \text{ ot}$$

$$L_h = \frac{L}{n_m} \cdot f_{a95} \quad ; \text{kde } f_{a95} - \text{Tabulka 4 (řádek 11)} \quad \text{Rovnice 9}$$

$$L_h = \frac{648174657}{199,5 \cdot 60} \cdot 0,62 = 54150 \text{ hodin}$$

Trvanlivost kuličkového šroubu je s 95% pravděpodobností 54 150 hodin.

### ***Kontrola na kritické otáčky***

- Z hlediska otáčkového faktoru

$$n_{ot.max} = \frac{100000}{d} \quad ; \text{kde } d - \text{Tabulka 4 (řádek 7)} \quad \text{Rovnice 10}$$

$$n_{ot.max} = \frac{100000}{50} = 2000 \text{ ot / min}$$

- Z hlediska uložení hřídele

$$n_{krit} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot f_N \cdot d}{l^2} \quad ; \text{kde } f_N, d, l - \text{Tabulka 4} \quad \text{Rovnice 11}$$

$$n_{krit} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot 15 \cdot 50}{3000^2} = 833 \text{ ot / min}$$

$$n_{ul.max} = 0,8 \cdot n_{krit} \quad \text{Rovnice 12}$$



$$n_{ul.max} = 0,8 \cdot 833 = 667 \text{ ot/min}$$

- Potřebné otáčky KŠ pro udržení rychlosti pohybu

$$n_{min} = \frac{v_3}{h_3} \quad ; \text{kde } v_3=30\text{m/min}; h_3\text{-Tabulka 4} \quad \text{Rovnice 13}$$

$$n_{min} = \frac{30000}{50} = 600 \text{ ot/min}$$

- Podmínka pro minimální rychlost

$$n_{i.max} \geq n_{min} \quad \text{Rovnice 14}$$

Otáčkový faktor		Uložení hřídele	
$n_{ot.max}$ [ot/min]	2000	$n_{krit}$ [ot/min]	833
$n_{ot.max} > n_{min}$	VYHOVUJE	$n_{ul.max}$ [ot/min]	667
		$n_{ul.max} > n_{min}$	VYHOVUJE

Tabulka 8 - shrnutí otáček KŠ

### Maximální axiální síla z hlediska vzpěru

$$\sigma_{krit} = \frac{\pi^3 \cdot 500 \cdot d^4}{f_v \cdot l^2} \quad ; \text{kde } d, f_v, l\text{-Tabulka 4} \quad \text{Rovnice 15}$$

$$\sigma_{krit} = \frac{\pi^3 \cdot 500 \cdot 50^4}{0,5 \cdot 3000^2} = 21532 \text{ N}$$

$$F_{max} = 0,33 \cdot \sigma_{krit} \quad \text{Rovnice 16}$$

$$F_{max} = 0,33 \cdot 21532 = 7106 \text{ N}$$

Max. axiální zatížení (vzpěr)	
$\sigma_{krit}$ [N]	21532
$F_{max}$ [N]	7106
$F_{max} > F_{a(1)DYN}$	VYHOVUJE

Tabulka 9 - shrnutí zatížení z hlediska vzpěru

Požadavkům vyhovuje šroub K 50x50 - 2,1/APQR s 95% spolehlivostí v počtu 1ks.

### 6.1.2. Návrh pohon

Volím pohon bez vloženého převodu. Motory řady MU ve spojení s kuličkovým šroubem by měli zvládnout nároky na ně kladené.

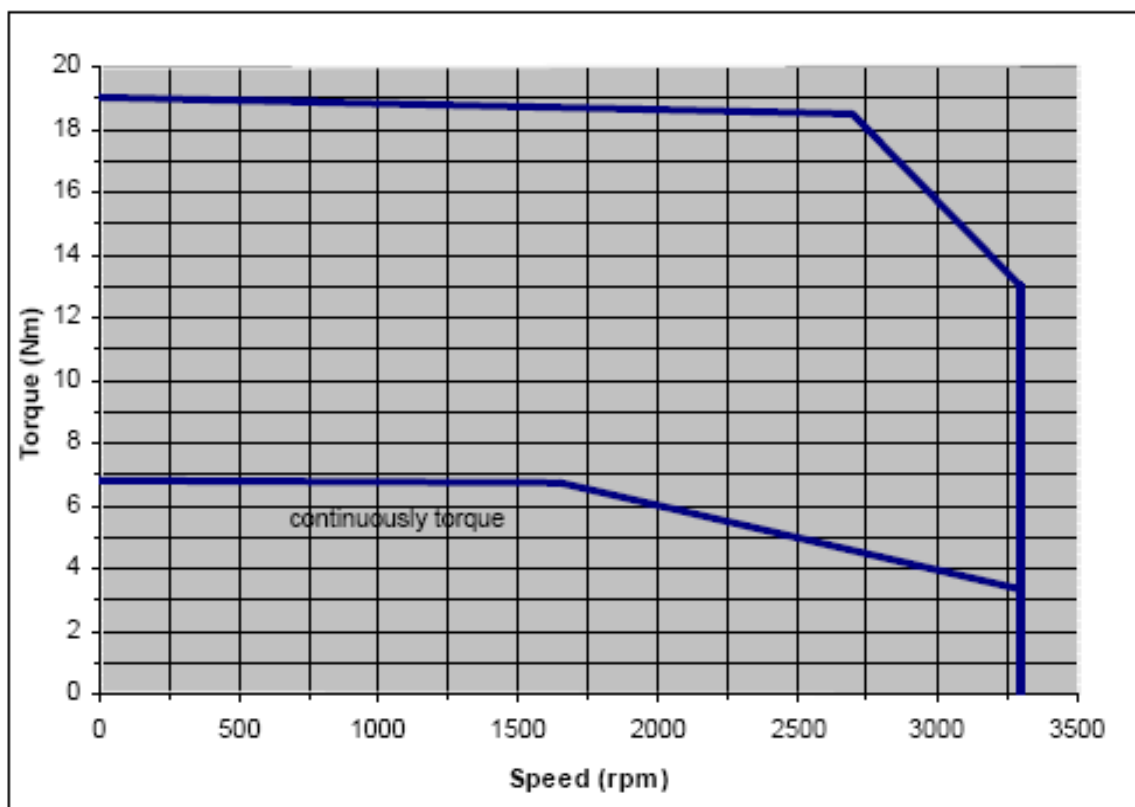
#### *Potřebný kroutící moment*

$$M_k = F_{prac} \cdot h_3 \quad ; \text{kde } F_{prac} - \text{Tabulka 3; } h_3 - \text{Tabulka 4 (řádek 6)}$$

Rovnice 17

$$M_k = 100 \cdot 0,00796 = 0,8 Nm$$

#### **Zvolen motor ABB MU20**



Obrázek 32 – graf závislosti kroutícího momentu na otáčkách [12]

#### *Výpočet redukovaného momentu*

$$J_{red} = J_m + J_{sp} + J_s + m_3 \cdot h_3^2 \quad ; \text{kde } m_3 = 500 \text{ kg; } h_3 - \text{Tabulka 4 (řádek 6)}$$

Rovnice 18

$$J_{red} = 0,00092 + 0,0003 + 0,014438 + 500 \cdot 0,00796^2 = 0,04732 \text{ kgm}^2$$

### Kontrola požadovaného zrychlení

$$a_3 = \frac{M_k}{J_{RED}} \cdot h_3 \quad ; \text{kde } M_k=19\text{Nm}; h_3\text{-Tabulka 4 (řádek 6)} \quad \text{Rovnice 19}$$

$$a_3 = \frac{19}{0,04732} \cdot 0,00796 = 3,2\text{ms}^{-2}$$

### 6.1.3. Návrh ložisek

Volím axiálně-radiální uložení ložisek na obou stranách šroubu. Na ložiska působí axiální síly od vlastního pohybu a dále kroutící moment od motoru. Postup výpočtu ložisek volen podle katalogu NSK.

#### Zatěžující síly

$$P_i = X \cdot F_{Ri} + Y \cdot F_{Ai} \quad ; \text{kde } X=1,9; Y=0,55; F_{Ai}\text{-Tabulka 3 (sloupec 2)} \quad \text{Rovnice 20}$$

$$F_{Ri} = \frac{M_{ki}}{2} \cdot \frac{2}{d} \quad ; \text{kde } M_{ki}=[19; 6,8; 6,8]\text{Nm}; d=30\text{mm} \quad \text{Rovnice 21}$$

$$P_{DYN} = 1,9 \cdot \frac{19}{0,03} + 0,55 \cdot \frac{500}{2} = 1340,8\text{N}$$

$$P_{man} = 1,9 \cdot \frac{6,8}{0,03} + 0,55 \cdot \frac{100}{2} = 458,2\text{N}$$

$$P_{prac} = 1,9 \cdot \frac{6,8}{0,03} + 0,55 \cdot \frac{100}{2} = 458,2\text{N}$$

$P_i$ [N]	$q_i$ [%]	$v_i$ [m/min]
1340,8	10	15
458,2	25	30
458,2	65	1,5

Tabulka 10 – zatížení ložiska

#### Ekvivalentní zatížení

$$P_C = \sqrt[3]{\frac{\sum q_i \cdot n_i \cdot P_i^3}{\sum q_i \cdot n_i}} \quad ; \text{kde } q_i, n_i, P_i\text{-Tabulka 10} \quad \text{Rovnice 22}$$

$$P_c = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 15 \cdot 1720,8^3 + 25 \cdot 30 \cdot 344,2^3 + 65 \cdot 1,5 \cdot 344,2^3}{10 \cdot 15 + 25 \cdot 30 + 65 \cdot 1,5}} = 763 N$$

### ***Výpočet dynamické únosnosti***

$$C = \sqrt[3]{\frac{L_h \cdot n_m}{10^6}} \cdot P_c \quad ; \text{kde } L_h=20000h; n_m=199,5 \text{ot/min} \quad \textbf{Rovnice 23}$$

$$C = \sqrt[3]{\frac{20000 \cdot 60 \cdot 199,5}{10^6}} \cdot 763 = 4738 N$$

### ***Voleno ložisko***

ložisko	C <sub>skut.</sub> [N]	počet
ZKL3080-2RS	29000	2

Tabulka 11 - typ ložiska

### ***Skutečná životnost***

$$L_{hskut.} = \left( \frac{C_{skut.}}{P_c} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m} \quad ; \text{kde } C_{skut.} \text{-Tabulka 11; } n_m=199,5 \text{ot/min} \quad \textbf{Rovnice 24}$$

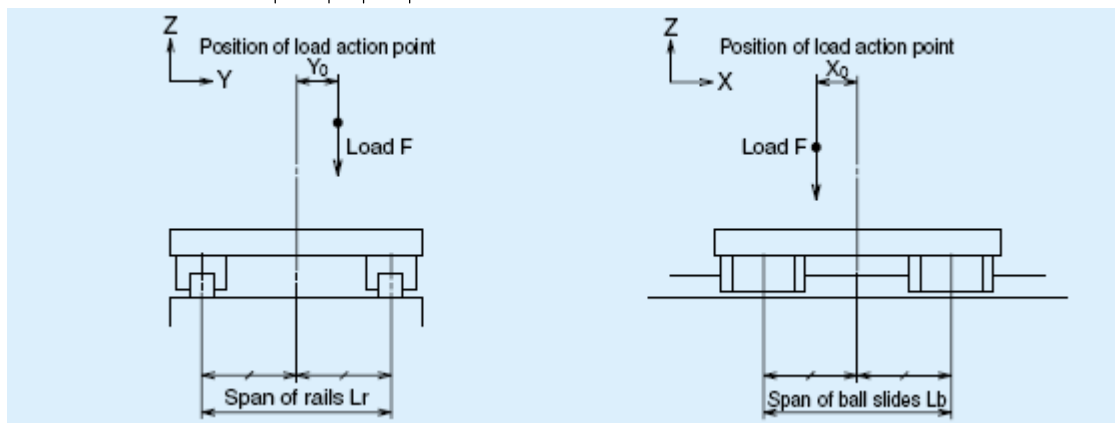
$$L_{hskut.} = \left( \frac{29000}{763} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 199,5} = 4586821 h$$

## **6.1.4. Návrh lineárního vedení**

Určující síla, skládá se ze sil dynamických a tíhy od jednotlivých částí stojanu. Koeficienty K<sub>p</sub>, na Obrázek 33, Obrázek 34, Obrázek 35 jsou zobrazeny jednotlivé rozměry v třech možných směrech namáhání lineárních vedení.

Kolmé zatížení:  $Kp = \left| \frac{X0}{Lb} \right| + \left| \frac{Y0}{Lr} \right|$

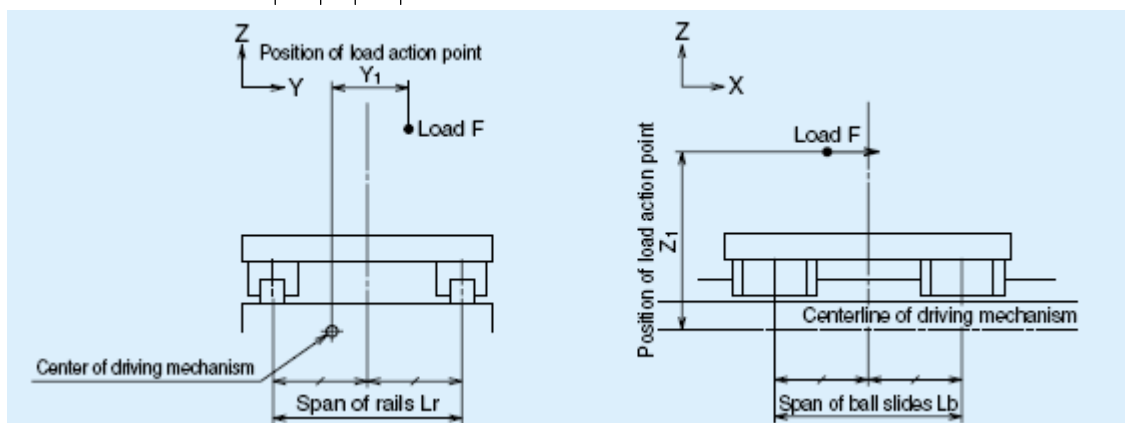
Rovnice 25



Obrázek 33 -Kolmé zatížení [11]

Axiální zatížení:  $Kp = \left| \frac{Z1}{Lb} \right| + \left| \frac{Y1}{Lr} \right|$

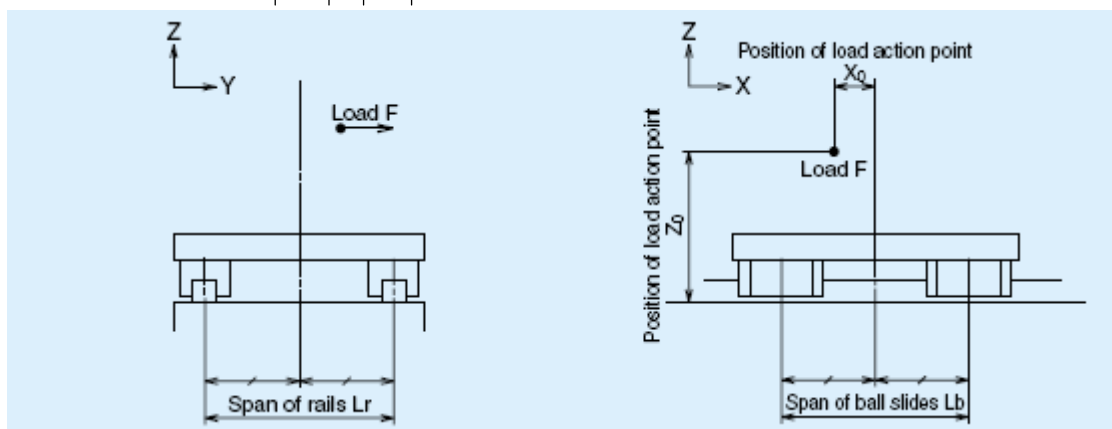
Rovnice 26



Obrázek 34 -Axiální zatížení [11]

Boční zatížení:  $Kp = \left| \frac{X0}{Lb} \right| + \left| \frac{Z0}{Lr} \right|$

Rovnice 27



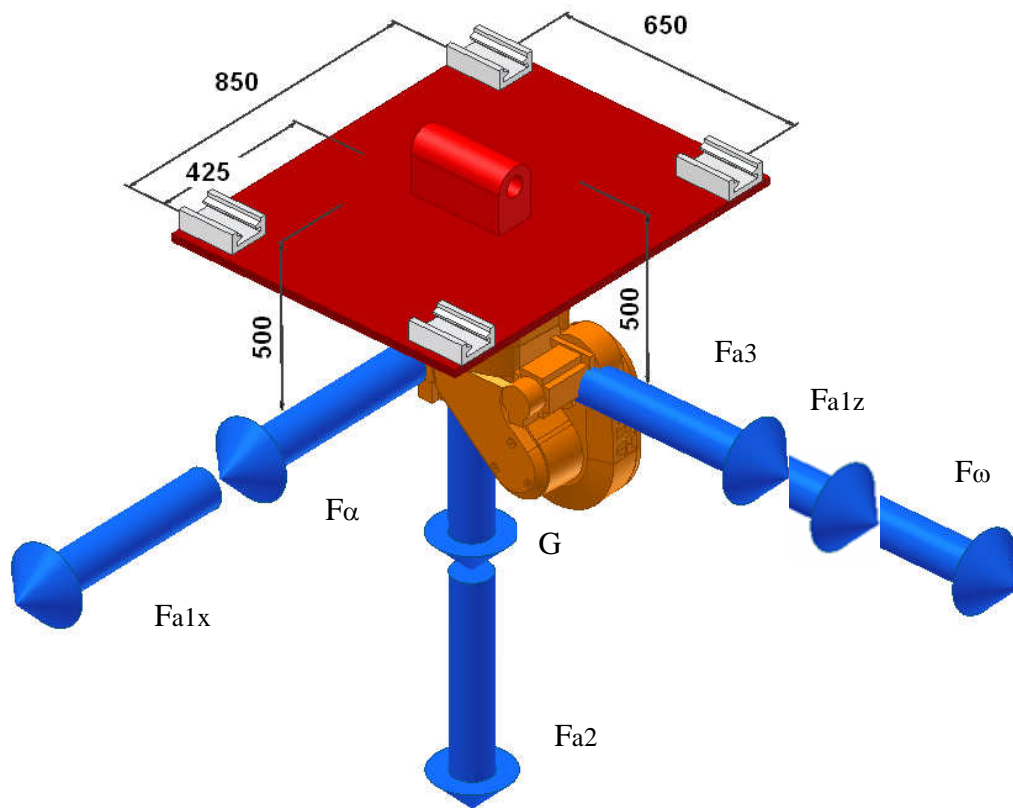
Obrázek 35 -Boční zatížení [11]

### *Předpokládané zatížení a místo působení*

Působící síly $F_i$ [N]	osa x [mm]	osa y [mm]	osa z [mm]	Vedení osa x [mm]	Vedení osa z [mm]	Faktor $Kp$
$G_{ROB}$	5000	0	0	650	850	0
$F_{ROBa}$	1750	0	0	650	850	0,588235
$F_{ROBa1x}$	500	0	0	650	850	0,588235
$F_{ROBa1z}$	500	0	0	650	850	0,769231
$F_{ROBa2}$	500	0	0	650	850	0
$F_{ROBa3}$	500	0	0	650	850	0,769231
$F_{ROBw}$	1750	0	0	650	850	0,769231

Tabulka 12 - síly působící na vedení

### *Náčrt situace*



Obrázek 36 - předpokládané zatížení v ose z

### Výpočet zatěžující síly

$$P = \sum \frac{F_i}{n} + \sum \frac{K_p \cdot F_i}{n/2} \quad ; \text{kde } F_i, K_p - \text{Tabulka 12; } n=4 \quad \text{Rovnice 28}$$

$$P = \frac{5000 + 1750 + 500 + 500 + 500 + 500 + 1750}{4} + \frac{5000 \cdot 0 + 1750 \cdot 0,59 + 500 \cdot 0,59}{2} + \frac{500 \cdot 0,77 + 500 \cdot 0 + 500 \cdot 0,77 + 1750 \cdot 0,77}{2} = 4344N$$

### Výpočet dynamické únosnosti

$$C = 10^{10/3} \sqrt{\frac{L_h \cdot v_m}{10^5}} \cdot P \quad ; \text{kde } L_h=20000h; v_m=9,975\text{m/min} \quad \text{Rovnice 29}$$

$$C = 10^{10/3} \sqrt{\frac{20000 \cdot 9,975 \cdot 60}{10^5}} \cdot 4344 = 18254 N$$

### **Volba vedení**

$C_{skut}$ [N]	volba vedení	počet hnízd
18800	LS 25 AL	4

Tabulka 13 - typ vedení

### **Skutečná životnost**

$$L_{hskut.} = \frac{\left(\frac{C_{skut}}{P}\right)^{10/3} \cdot 10^5}{v_m} \quad ; \text{kde } C_{skut} \text{ - Tabulka 13; } v_m=9,975\text{m/min} \quad \text{Rovnice 30}$$

$$L_{hskut.} = \frac{\left(\frac{18800}{4344}\right)^{10/3} \cdot 10^5}{60 \cdot 9,975} = 22064 \text{ hodin}$$

### **Délka vedení**

$$L_v = 4000 \text{ mm}$$

### **Objednací číslo vedení:**

**LS 25 4000 AL C 2 – 4,5 PN 0 - II**

## **6.2. Návrh osy Y**

V ose Y je umístěno rameno s robotem a základnou a pohybuje se po sloupu pomocí kuličkového šroubu, rameno je na sloupu uložena v lineárním vedení.

Požadovaná rychlost posuvu  $v_2=30\text{m/min}$ , požadované zrychlení  $a_2=1\text{m/s}^2$ .



### 6.2.1. Volba kuličkového šroubu

Kuličkové šrouby jsou voleny podle katalogu a postupů výpočtů firmy KSK. Kuličkové šrouby pro osu Y voleny podle analogického postupu (horizontální). Na této pohybové ose bude použito vyvažování od firmy Pascal ke snížení zatížení šroubu.

#### *Požadované parametry v ose Y*

$F_i$	síla na šroub [N]	$v_i$	rychlost posuvu [m/min]	$q_i$	časové využití [%]
$F_{DYN}$	3750	$v_{DYN}$	15	$q_{DYN}$	10
$F_{man}$	2750	$v_{man}$	30	$q_{man}$	20
$F_{prac}$	2750	$v_{prac}$	1,5	$q_{prac}$	70

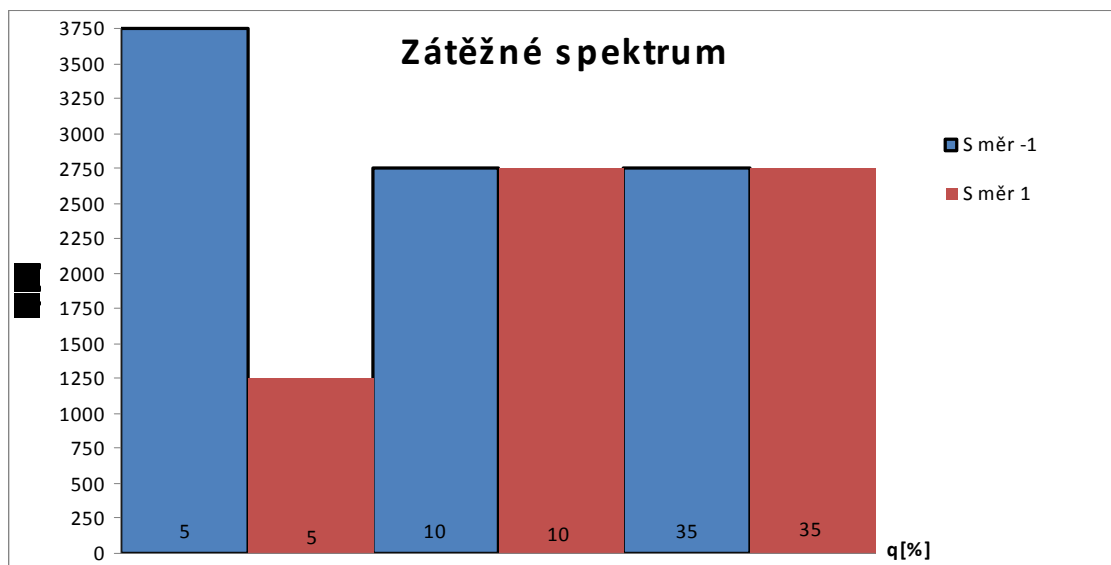
Tabulka 14 - síly působící na šroub

#### *Parametry kuličkového šroubu*

šroub	K 63 x 32
$i$ [-]	3,3
$Ca$ [N]	62600
$k$ [N/ $\mu$ m]	1250
$h_2$ [mm/ot]	32
$h_2$ [mm/rad]	5,092958
$d$ [mm]	63
$l$ [mm]	3800
$J_s$ [kgm <sup>2</sup> ]	0,046093
$L_{hš}$ [hodin]	20000
$f_{a95}$ 95%	0,62
$f_v$	0,5
$f_N$	15
$n_{min}$ [ot/min]	500
$M_k$ [Nm]	19,09859

Tabulka 15 - K63x32

#### *Graf jednotlivých sil působících v čase*



Obrázek 37 - graf zatížení

### Výpočty ekvivalentních otáček

$$n_m = \sum \frac{q_i}{100} \cdot n_i \quad ; \text{kde } q_i - \text{Tabulka 14 (sloupec 6)} \quad \text{Rovnice 31}$$

$$n_i = \frac{v_i}{h_3} \quad ; \text{kde } v_i - \text{Tabulka 14 (sloupec 4)}; h_3 - 50 \text{ mm/ot} \quad \text{Rovnice 32}$$

$$n_m = \frac{15 \cdot 10 + 30 \cdot 20 + 1,5 \cdot 70}{100 \cdot 32} \cdot 1000 = 267 \text{ ot/min}$$

### Výpočty ekvivalentního zatížení

$$F_m = \sqrt[3]{\sum F_{aj}^3 \cdot \frac{n_i}{n_m} \cdot \frac{q_i}{100}} \quad ; \text{kde } n_i = \frac{v_j}{h_3} \quad ; \text{kde } v_j - \text{Tabulka 3 (sloupec 4)}; h_3 - 50 \text{ mm/ot} \quad \text{Rovnice 2}; q_i - \text{Tabulka 14 (sloupec 6)}$$

$$F_{aj} = F_v \cdot \left( 1 + \frac{F_i}{2,83 \cdot F_v} \right)^{3/2} \quad ; \text{kde } F_i - \text{Tabulka 14 (sloupec 2)} \quad \text{Rovnice 34}$$

$$F_v = 0,1 \cdot C \quad ; \text{kde } C_a - \text{Tabulka 14 (řádek 3)} \quad \text{Rovnice 35}$$

Předpětí:

$$F_v = 0,1 \cdot 62600 = 6260 \text{ N}$$

Vnitřní axiální zatížení:

$$F_{a(1)DYN} = 6260 \cdot \left(1 + \frac{3750}{2,83 \cdot 6260}\right)^{3/2} = 8349N$$

$$F_{a(-1)DYN} = 6260 \cdot \left(1 + \frac{1250}{2,83 \cdot 6260}\right)^{3/2} = 6934N$$

$$F_{a(1)man} = 6260 \cdot \left(1 + \frac{2750}{2,83 \cdot 6260}\right)^{3/2} = 7773N$$

$$F_{a(-1)man} = 6260 \cdot \left(1 + \frac{2750}{2,83 \cdot 6260}\right)^{3/2} = 7773N$$

$$F_{a(1)prac} = 6260 \cdot \left(1 + \frac{2750}{2,83 \cdot 6260}\right)^{3/2} = 7773N$$

$$F_{a(-1)prac} = 6260 \cdot \left(1 + \frac{2750}{2,83 \cdot 6260}\right)^{3/2} = 7773N$$

$F_{a(1)DYN} [N]$	8349	$F_{a(-1)DYN} [N]$	6934
$F_{a(1)man} [N]$	7773	$F_{a(-1)man} [N]$	7773
$F_{a(1)prac} [N]$	7773	$F_{a(-1)prac} [N]$	7773

Tabulka 16 - vnitřní axiální zatížení

Střední vnitřní axiální zatížení:

**Směr (1)**

$$F_{m(1)} = \sqrt[3]{8349^3 \cdot \frac{15}{8,55} \cdot \frac{5}{100} + 7773^3 \cdot \frac{30}{8,55} \cdot \frac{10}{100} + 7773^3 \cdot \frac{1,5}{8,55} \cdot \frac{35}{100}} = 7761N$$

**Směr (-1)**

$$F_{m(-1)} = \sqrt[3]{6934^3 \cdot \frac{15}{8,55} \cdot \frac{5}{100} + 7773^3 \cdot \frac{30}{8,55} \cdot \frac{10}{100} + 7773^3 \cdot \frac{1,5}{8,55} \cdot \frac{30}{100}} = 7639N$$

$F_{m(1)} [N]$	7761
$F_{m(-1)} [N]$	7639

Tabulka 17 – střední vnitřní axiální zatížení

### Kontrola životnosti na jednu matici

$$L_i = \left( \frac{C_a \cdot f_m}{F_{m(i)}} \right)^3 \cdot 10^6 \quad ; \text{kde } C_a - \text{Tabulka 15 (řádek 3); } f_m = 1,25; F_{m(i)} - \text{Tabulka 17} \quad \text{Rovnice 36}$$

$$L_{hi} = \frac{L_i}{n_m} \quad ; \text{kde } n_m = 267 \text{ ot/min} \quad \text{Rovnice 37}$$

#### Směr (1)

$$L_1 = \left( \frac{62600 \cdot 1,25}{7761} \right)^3 \cdot 10^6 = 1024837395 \text{ ot.}$$

$$L_{h1} = \frac{1024837395}{8,55} = 63927 \text{ hodin}$$

#### Směr (-1)

$$L_{-1} = \left( \frac{62600 \cdot 1,25}{7639} \right)^3 \cdot 10^6 = 1074989203 \text{ ot.}$$

$$L_{h-1} = \frac{1074989203}{8,55} = 67056 \text{ hodin}$$

$L_1$ [otáčky]	1024837395	$L_{-1}$ [otáčky]	1074989203
$L_{h1}$ [hodin]	63927	$L_{h-1}$ [hodin]	67056

Tabulka 18 - životnost matice

### Kontrola celkové životnosti

$$L = \left( L_1^{-\frac{10}{9}} + L_{-1}^{-\frac{10}{9}} \right)^{-\frac{9}{10}} \quad ; \text{kde } L_1, L_{(-1)} - \text{Tabulka 18} \quad \text{Rovnice 38}$$

$$L = \left( 1024837395^{-\frac{10}{9}} + 1074989203^{-\frac{10}{9}} \right)^{-\frac{9}{10}} = 562295838,2 \text{ ot}$$

$$L_h = \frac{L}{n_m} \cdot f_{a95} \quad ; \text{kde } f_{a95} - \text{Tabulka 15 (řádek 11)} \quad \text{Rovnice 39}$$

$$L_h = \frac{562295838}{267} \cdot 0,62 = 21746,5 \text{ hodin}$$

Trvanlivost kuličkového šroubu je s 95% pravděpodobností 21 746,5 hodin.

### ***Kontrola na kritické otáčky***

- Z hlediska otáčkového faktoru

$$n_{ot.max} = \frac{100000}{d} \quad ; \text{kde } d - \text{Tabulka 15 (řádek 7)} \quad \text{Rovnice 40}$$

$$n_{ot.max} = \frac{100000}{63} = 1587 \text{ ot / min}$$

- Z hlediska uložení hřídele

$$n_{krit} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot f_N \cdot d}{l^2} \quad ; \text{kde } f_N, d, l - \text{Tabulka 15} \quad \text{Rovnice 41}$$

$$n_{krit} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot 15 \cdot 63}{3800^2} = 654 \text{ ot / min}$$

$$n_{ul.max} = 0,8 \cdot n_{krit} \quad \text{Rovnice 42}$$

$$n_{ul.max} = 0,8 \cdot 654 = 524 \text{ N}$$

- Potřebné otáčky KŠ pro udržení rychlosti pohybu

$$n_{min} = \frac{v_2}{h_2} \quad ; \text{kde } v_2 = 30 \text{ m/min; } h_2 - \text{Tabulka 15} \quad \text{Rovnice 43}$$

$$n_{min} = \frac{30000}{32} = 937,5 \text{ ot / min}$$

Nutno snížit na 16 m/min.

- Podmínka pro minimální rychlost

$$n_{i.max} \geq n_{min} \quad \text{Rovnice 44}$$

Otáčkový faktor		Uložení hřídele	
$n_{\max}$ [ot/min]	1587	$n_{\text{krit}}$ [ot/min]	654
$n_{\max} > n_{\max1}$	VYHOVUJE	$n_{\max}$ [ot/min]	524
		$n_{\max} > n_{\max1}$	VYHOVUJE

Tabulka 19 - shrnutí otáček KŠ

### Maximální axiální síla z hlediska vzpěru

$$\sigma_{\text{krit}} = \frac{\pi^3 \cdot 500 \cdot d^4}{f_v \cdot l^2} \quad ; \text{kde } d, f_v, l - \text{Tabulka 15} \quad \text{Rovnice 45}$$

$$\sigma_{\text{krit}} = \frac{\pi^3 \cdot 500 \cdot 63^4}{0,5 \cdot 3800^2} = 33826 N$$

$$F_{\max} = 0,33 \cdot \sigma_{\text{krit}} \quad \text{Rovnice 46}$$

$$F_{\max} = 0,33 \cdot 33826 = 11162 N$$

Max. axiální zatížení (vzpěr)	
$\sigma_{\text{krit}}$ [N]	33826
$F_{\max}$ [N]	11162
$F_{\max} > F_{a(1)\text{DYN}}$	VYHOVUJE

Tabulka 20 - shrnutí zatížení z hlediska vzpěru

Požadavkům vyhovuje šroub K 63x32 – 3,3/APVR s 95% spolehlivostí v počtu 2ks.

### 6.2.2. Přímý pohon

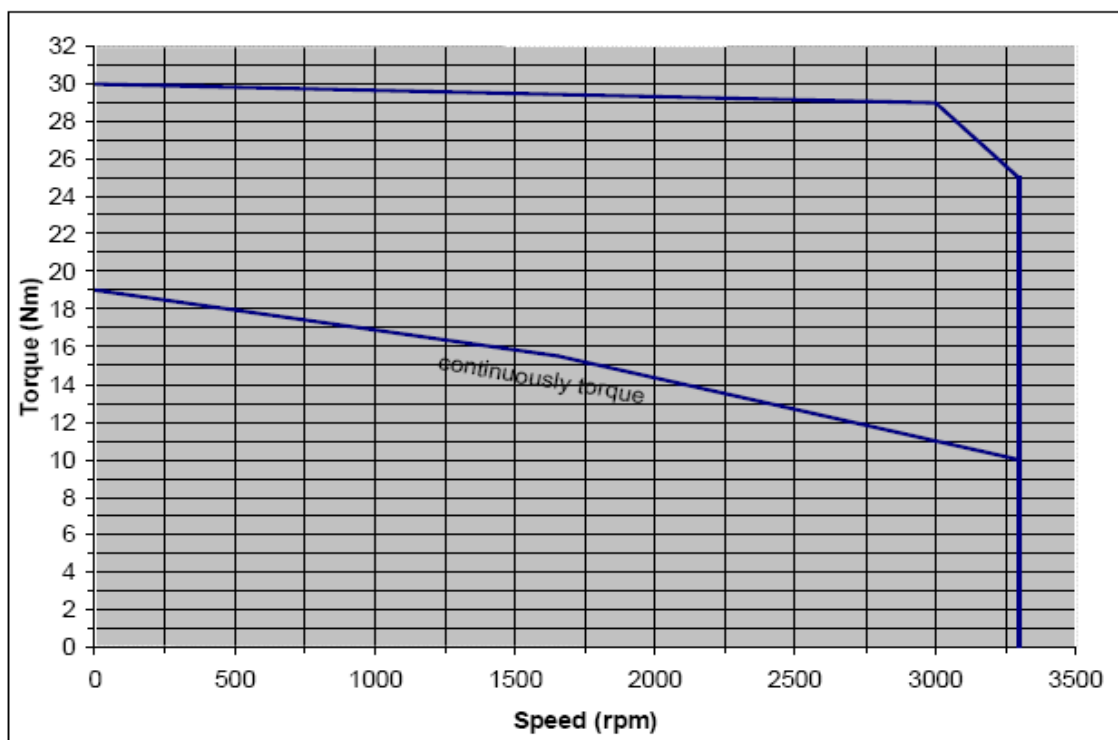
Volím pohon bez vloženého převodu. Motory řady MU ve spojení s kuličkovým šroubem by měli zvládnout nároky na ně kladené.

#### Potřebný krouticí moment

$$M_k = F_{\text{prac}} \cdot h_2 \quad ; \text{kde } F_{\text{prac}} - \text{Tabulka 14; } h_2 - \text{Tabulka 15 (řádek 6)} \quad \text{Rovnice 47}$$

$$M_k = 3750 \cdot 0,00509 = 19,1 Nm$$

### Zvolen motor ABB MU30



Obrázek 38 – graf závislosti kroutícího momentu na otáčkách [12]

### Výpočet redukovaného momentu

$$J_{red} = J_m + J_{sp} + J_s + m_{3,2} \cdot h_2^2 \quad ; \text{kde } m_{3,2}=2500\text{kg}; h_2\text{-Tabulka 15 (řádek 6)} \quad \text{Rovnice 48}$$

$$J_{red} = 0,00213 + 0,0003 + 0,046093 + 2500 \cdot 0,00509^2 = 0,11337 \text{kgm}^2$$

### Kontrola požadovaného zrychlení

$$a_2 = \frac{M_k}{J_{RED}} \cdot h_2 \quad ; \text{kde } M_k=30\text{Nm}; h_2\text{-Tabulka 15 (řádek 6)} \quad \text{Rovnice 49}$$

$$a_2 = \frac{30}{0,11337} \cdot 0,00509 = 1,3 \text{ms}^{-2}$$

### 6.2.3. Návrh ložisek

Volím axiálně-radiální uložení ložisek na obou stranách šroubu. Na ložiska působí axiální síly od vlastního pohybu a dále kroutící moment od motoru. Postup výpočtu ložisek volen podle katalogu NSK.

### ***Zatěžující síly***

$$P_i = X \cdot F_{Ri} + Y \cdot F_{Ai} \quad ; \text{kde } X=1,9; Y=0,55; F_{Ai} \text{-Tabulka 14 (sloupec 2)} \quad \text{Rovnice 50}$$

$$F_{Ri} = \frac{M_{ki}}{2} \cdot \frac{2}{d} \quad ; \text{kde } M_{ki}=[30; 19; 19]\text{Nm}; d=40\text{mm} \quad \text{Rovnice 51}$$

$$P_{DYN} = 1,9 \cdot \frac{30}{0,04} + 0,55 \cdot \frac{3750}{2} = 2456,3N$$

$$P_{man} = 1,9 \cdot \frac{19}{0,04} + 0,55 \cdot \frac{2750}{2} = 1658,8N$$

$$P_{prac} = 1,9 \cdot \frac{19}{0,04} + 0,55 \cdot \frac{2750}{2} = 1658,8N$$

$P_i$ [N]	$q_i$ [%]	$v_i$ [m/min]
2456,3	10	15
1658,8	20	30
1658,8	70	1,5

Tabulka 21 – zatížení ložiska

### ***Ekvivalentní zatížení***

$$P_C = \sqrt[3]{\frac{\sum q_i \cdot n_i \cdot P_i^3}{\sum q_i \cdot n_i}} \quad ; \text{kde } q_i, n_i, P_i \text{-Tabulka 21} \quad \text{Rovnice 52}$$

$$P_C = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 15 \cdot 2456,3^3 + 20 \cdot 30 \cdot 1658,8^3 + 70 \cdot 1,5 \cdot 1658,8^3}{10 \cdot 15 + 20 \cdot 30 + 70 \cdot 1,5}} = 1853N$$

### ***Výpočet dynamické únosnosti***

$$C = \sqrt[3]{\frac{L_h \cdot n_m}{10^6}} \cdot P_c \quad ; \text{kde } L_h=20000h; n_m=267\text{ot/min} \quad \text{Rovnice 53}$$

$$C = \sqrt[3]{\frac{20000 \cdot 60 \cdot 267}{10^6}} \cdot 1853 = 12683N$$

### ***Voleno ložisko***



ložisko	C <sub>skut.</sub> [N]	Počet
ZKL40100-2RS	43000	2

Tabulka 22 - typ ložiska

### Skutečná životnost

$$L_{hskut.} = \left( \frac{C_{skut.}}{P_c} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m} \quad ; \text{kde } C_{skut.} - \text{Tabulka 22; } n_m = 267 \text{ ot/min} \quad \text{Rovnice 54}$$

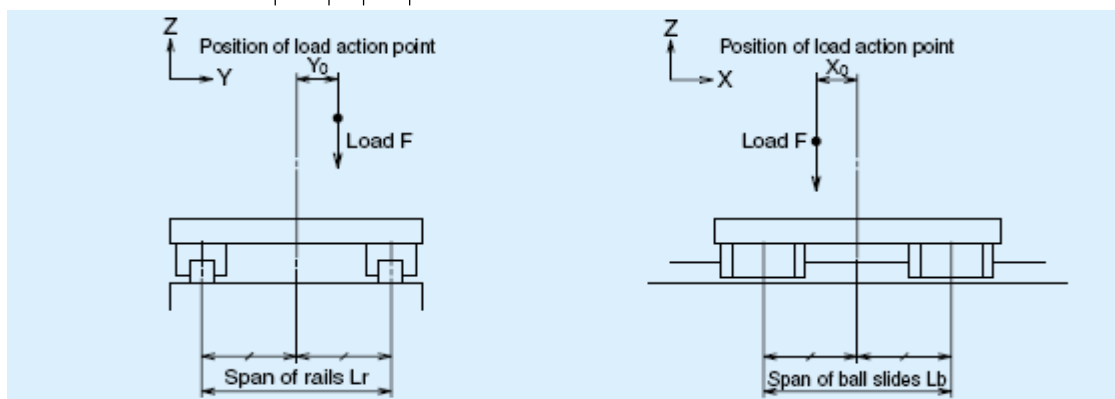
$$L_{hskut.} = \left( \frac{43000}{1853} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 267} = 779417h$$

### 6.2.4. Návrh lineárního vedení

Určující síla, skládá se ze sil dynamických a tíhy od jednotlivých částí stojanu. Koeficienty K<sub>p</sub>, na Obrázek 39 -Kolmé zatížení, Obrázek 40, Obrázek 41 jsou zobrazeny jednotlivé rozměry v třech možných směrech namáhání lineárních vedení.

Kolmé zatížení:  $Kp = \left| \frac{X0}{Lb} \right| + \left| \frac{Y0}{Lr} \right|$

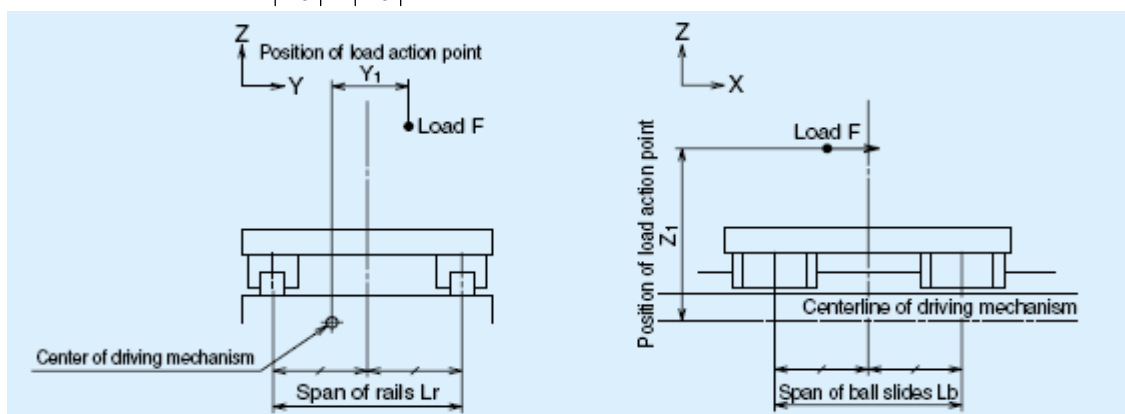
Rovnice 55



Obrázek 39 -Kolmé zatížení [11]

Axiální zatížení:  $Kp = \left| \frac{Z1}{Lb} \right| + \left| \frac{Y1}{Lr} \right|$

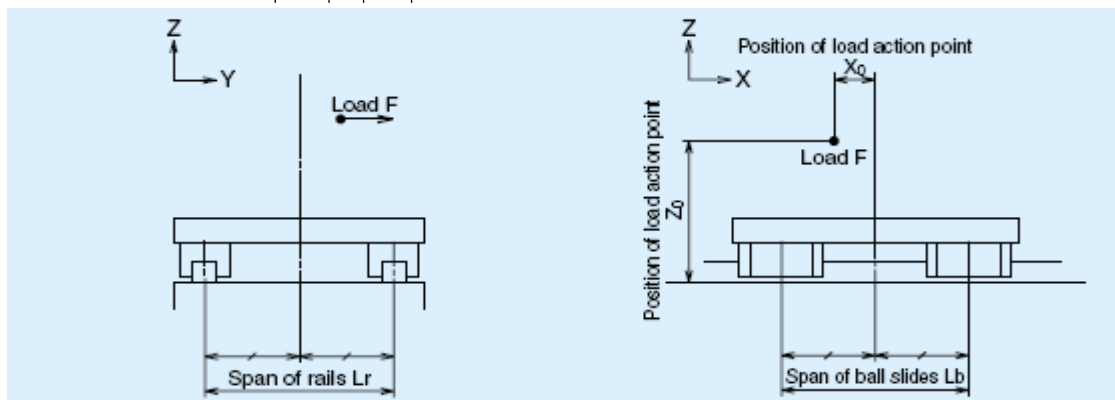
Rovnice 56



Obrázek 40 -Axiální zatížení [11]

Boční zatížení:  $Kp = \left| \frac{X0}{Lb} \right| + \left| \frac{Z0}{Lr} \right|$

Rovnice 57



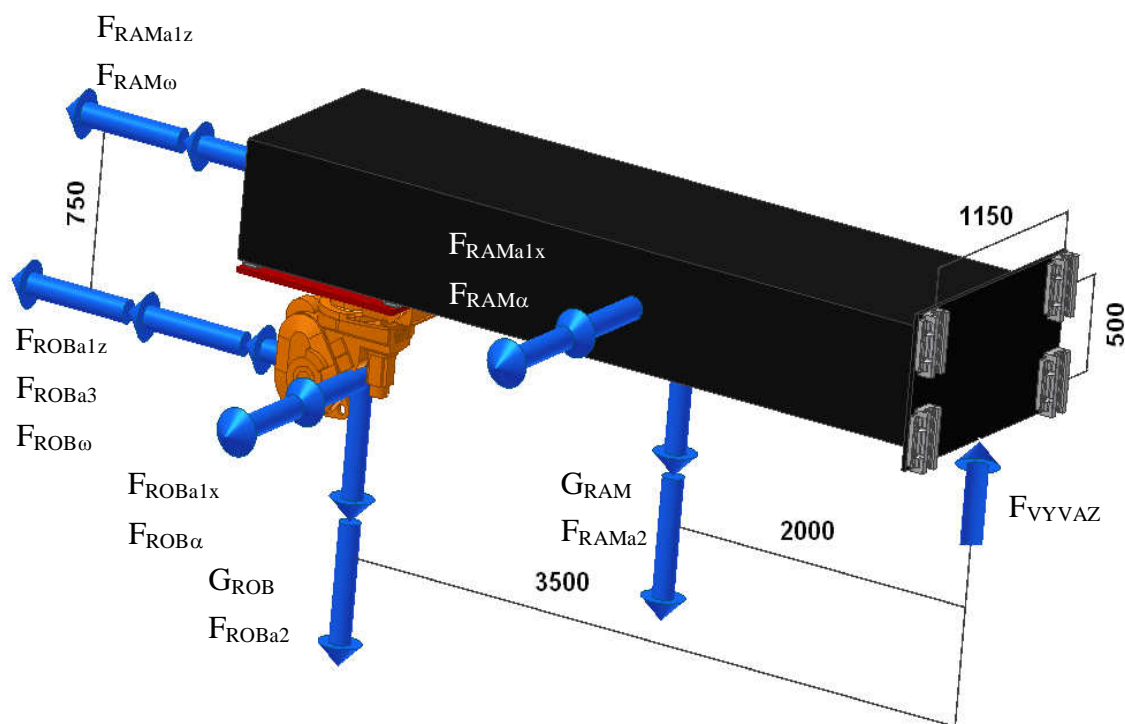
Obrázek 41 -Boční zatížení [11]

*Předpokládané zatížení a místo působení*

Působící síly $F_i$ [N]		osa x [mm]	osa y [mm]	osa z [mm]	Vedení osa x [mm]	Vedení osa y [mm]	Faktor $K_p$
$F_{ROB \omega}$	1750	750	0	0	1150	500	1,500
$F_{ROB a3}$	500	750	0	0	1150	500	1,500
$F_{ROB a1z}$	500	750	0	0	1150	500	1,500
$F_{RAM \omega}$	4000	0	0	0	1150	500	0,000
$F_{RAM a1z}$	2000	0	0	0	1150	500	0,000
$G_{ROB}$	5000	0	0	3500	1150	500	7,000
$F_{ROB a2}$	500	0	0	3500	1150	500	7,000
$G_{RAM}$	20000	0	0	2000	1150	500	4,000
$F_{RAM a2}$	2000	0	0	2000	1150	500	4,000
$F_{VYVAZ.}$	-20000	0	0	0	1150	500	0,000
$F_{ROB a1x}$	500	750	0	3500	1150	500	4,543
$F_{ROB \alpha}$	1750	750	0	3500	1150	500	4,543
$F_{RAM a1x}$	2000	0	0	2000	1150	500	1,739
$F_{RAM \alpha}$	4000	0	0	2000	1150	500	1,739

Tabulka 23 - síly působící na vedení

*Náčrt situace*



Obrázek 42 - předpokládané zatížení v ose z

### Výpočet zatěžující síly

$$P = \sum \frac{F_i}{n} + \sum \frac{K_p \cdot F_i}{n/2} \quad ; \text{kde } F_i, K_p - \text{Tabulka 23; } n=4 \quad \text{Rovnice 58}$$

$$P = \frac{1750 + 500 + 4000 + 5000 + 500 + 20000 + 2000 - 20000 + 500 + 1750 + 2000}{4} +$$

$$+ \frac{4000}{4} + \frac{1750 \cdot 1,5 + 500 \cdot 1,5 + 4000 \cdot 0 + 2000 \cdot 0 + 5000 \cdot 7 + 500 \cdot 7 + 20000 \cdot 4 + 2000 \cdot 4}{2} +$$

$$+ \frac{-20000 \cdot 0 + 500 \cdot 4,543 + 1750 \cdot 4,543 + 2000 \cdot 1,739 + 4000 \cdot 1,739}{2} = 81766 N$$

### Výpočet dynamické únosnosti

$$C = \sqrt[10/3]{\frac{L_h \cdot v_m}{10^5}} \cdot P \quad ; \text{kde } L_h=20000h; v_m=8,55m/min \quad \text{Rovnice 59}$$

$$C = \sqrt[10/3]{\frac{20000 \cdot 8,55 \cdot 60}{10^5}} \cdot 81266 = 328034 N$$

### Volba vedení

$C_{skut}$ [N]	volba vedení	počet hnízd
345000	LH 85 GL	4

Tabulka 24 - typ vedení

### Skutečná životnost

$$L_{hskut.} = \frac{\left(\frac{C_{skut}}{P}\right)^{10/3} \cdot 10^5}{v_m} \quad ; \text{kde } C_{skut} - \text{Tabulka 24; } v_m=8,55m/min \quad \text{Rovnice 60}$$

$$L_{hskut.} = \frac{\left(\frac{345000}{81766}\right)^{10/3} \cdot 10^5}{60 \cdot 8,55} = 23661 \text{ hodin}$$

### Délka vedení

$$L_v = 4000 \text{ mm}$$

### Objednací číslo vedení:

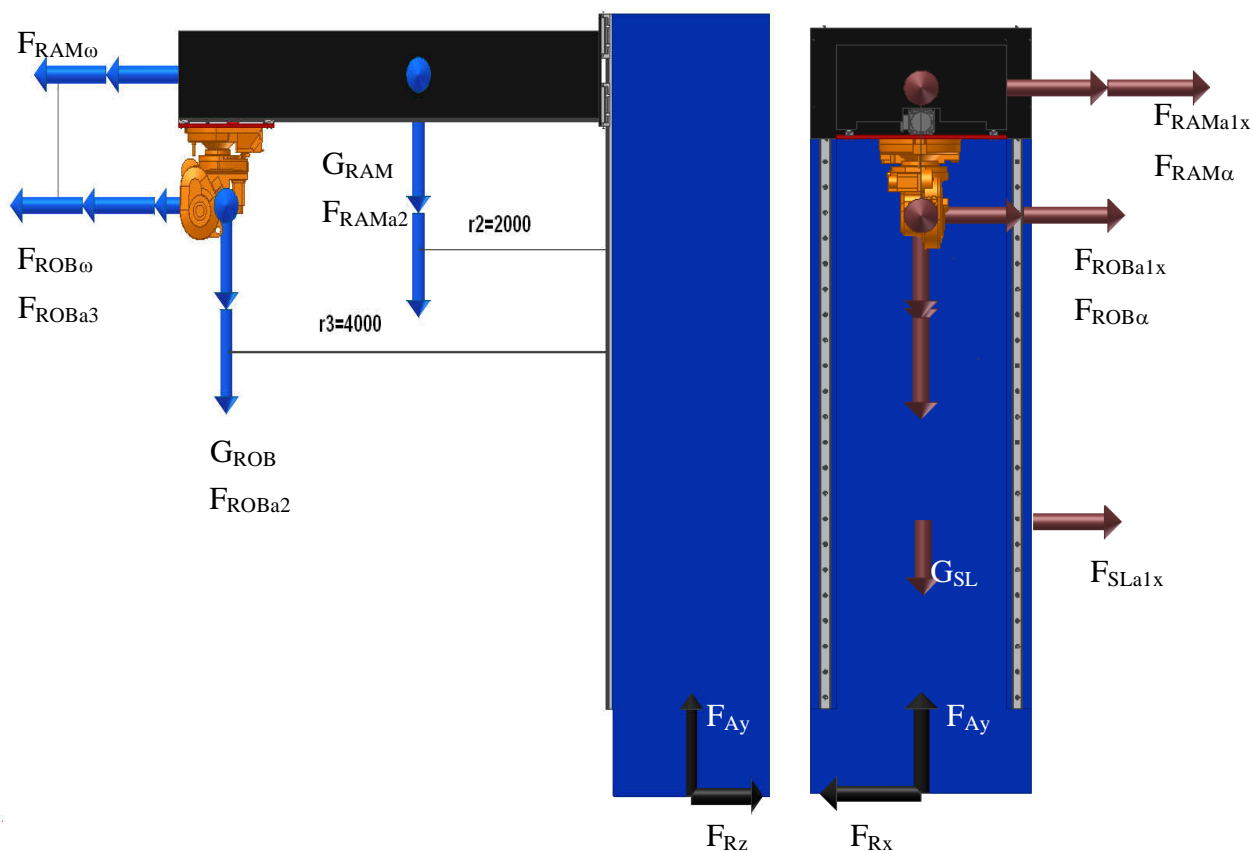
## LH 85 4000 GL C 2 – 4,5 PN 0 – II

### 6.3. Návrh otoče sloupu

Sloup se otáčí kolem své osy. Otoč je umístěna u paty sloupu. Otáčení sloupu slouží především k přemístění mezi pracovišti umístěných vedle sebe.

Požadovaná rychlost otáčení  $\omega=4\text{ot/min}$ , požadované zrychlení  $\alpha=1\text{m/s}^2$ .

#### Náčrt situace



Obrázek 43 - předpokládané zatížení sloupu

Působící síly $F_i$ [N]	
$F_{\text{ROB } \omega}$ [N]	1750
$F_{\text{ROB } a3}$ [N]	500
$F_{\text{RAM } \omega}$ [N]	4000
$G_{\text{SL}}$ [N]	60000
$G_{\text{ROB}}$ [N]	5000
$F_{\text{ROB } a2}$ [N]	500
$G_{\text{RAM}}$ [N]	20000
$F_{\text{RAM } a2}$ [N]	2000
$F_{\text{SLa1}}$ [N]	6000
$F_{\text{ROB } a1}$ [N]	500
$F_{\text{ROB } \alpha}$ [N]	1750
$F_{\text{RAM } a1}$ [N]	2000
$F_{\text{RAM } \alpha}$ [N]	4000

Tabulka 25 – přehled působících sil na konstrukci

### 6.3.1. Návrh převodu

Kvůli omezenému výběru motorů z řady MU je nutné navrhnout vložený převod mezi motorem a sloupem.

$J_{\text{sl}}$ [kgm <sup>2</sup> ]	$m_2$ [kg]	$m_3$ [kg]	$r_2$ [m]	$r_3$ [m]	$\alpha$ [ms <sup>-2</sup> ]	$M_M$ [Nm]
1540,785	2000	500	2,65	4,65	1	30

Tabulka 26 – parametry otočného sloupu

$$M_M = J_{\text{Red}} \cdot \alpha_M \quad \text{Rovnice 61}$$

$$J_{\text{Red}} = \frac{J_c}{p_c^2} \quad \text{Rovnice 62}$$

Zanedbány momenty setrvačnosti motoru a převodovky.

$$\alpha_M = \alpha \cdot p_c \quad \text{Rovnice 63}$$

Po dosazení  $J_{\text{Red}} = \frac{J_c}{p_c^2}$  Rovnice 62 a  $\alpha_M = \alpha \cdot p_c$  Rovnice 63 do

$$M_M = J_{\text{Red}} \cdot \alpha_M \quad \text{Rovnice 61 dostaneme}$$

$$M_M = \frac{J_c}{p_c^2} \cdot \alpha \cdot p_c \quad \text{Rovnice 64}$$

Po úpravě  $M_M = \frac{J_c}{p_c} \cdot \alpha \cdot p_c$  Rovnice 64 dostaneme

$$p_c = \frac{J_c}{M_M} \cdot \alpha \quad ; \text{kde } M_M, \alpha - \text{Tabulka 26} \quad \text{Rovnice 65}$$

$$J_c = J_{sl} + m_2 \cdot r_2^2 + m_3 \cdot r_3^2 \quad ; \text{kde } J_{sl}, m_2, m_3, r_2, r_3 - \text{Tabulka 26} \quad \text{Rovnice 66}$$

$$J_c = 1540,785 + 2000 \cdot 2,65^2 + 500 \cdot 4,65^2 = 26397,035 \text{ kgm}^2$$

$$p_c = \frac{26397,035}{30} \cdot 1 = 879,9$$

### **Rozdělení na dílčí převody**

$$p_c = p_{12} \cdot p_{34} \quad \text{Rovnice 67}$$

Volím bezvůlovou cykloidní převodovku Sumitomo Cyclo 6000 s označením 6185DB s převodovým poměrem  $p_{12}=319$ .

$$p_{34} = \frac{p_c}{p_{12}} \quad \text{Rovnice 68}$$

$$p_{34} = \frac{879,9}{319} = 2,758$$

$p_c$	$p_{12}$	$p_{34}$
879,9	319	2,758

Tabulka 27 – převodové poměry

### **6.3.2. Návrh ozubení**

Ozubení bude navrženo pouze pro převodový poměr  $p_{34}$ , pro převodový poměr  $p_{12}$  je navržena převodovka od firmy Sumitomo.

Volím materiál 12 020, cementováno, kaleno.

$$\sigma_{Flimb} = 500 \text{ MPa} \quad \sigma_{Hlimb} = 1210 \text{ MPa}$$

$$m_{34} = f_p \cdot \sqrt[3]{\frac{K_F \cdot M_{K3}}{\psi_m \cdot z_3 \cdot \sigma_{FP}}} \quad ; \text{kde } f_p=18; K_F=1,27; \psi_m=34; \sigma_{Flimb}=271,2\text{MPa} \quad \text{Rovnice 69}$$

$$M_{k3} = M_M \cdot p_{12} \quad ; \text{kde } M_M\text{-Tabulka 26; } p_{12}\text{-Tabulka 27} \quad \text{Rovnice 70}$$

$$M_{k3} = 30 \cdot 319 = 9570\text{Nm}$$

$$m_{34} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,27 \cdot 9570}{34 \cdot 19 \cdot 271,2}} = 7,4\text{mm}$$

$$d_3 = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot M_{K3} \cdot \frac{p_{34} + 1}{p_{34}}}{\psi_d \cdot \sigma_{HP}^2}} \quad ; \text{kde } f_H=690; K_H=1,13; \psi_d=1,4; \sigma_{HP}=472\text{MPa} \quad \text{Rovnice 71}$$

$$d_3 = 690 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,13 \cdot 9570}{1,4 \cdot 472^2} \cdot \frac{2,758 + 1}{2,758}} = 249,4\text{mm}$$

$$d_3 = z_3 \cdot m_{34} \Rightarrow m_{34} = \frac{d_3}{z_3} \quad ; \text{kde } z_3=19 \quad \text{Rovnice 72}$$

$$m_{34} = \frac{249,4}{19} = 13,128\text{mm}$$

Volím modul  $m_{34}=12\text{mm}$ .

pastorek 3	
$z_3$	19
$m_{34} [\text{mm}]$	12
$d_3 [\text{mm}]$	228

Tabulka 28 – ozubený pastorek 3

### Návrh ozubeného kola 4

$$z_4 = z_3 \cdot p_{34} \quad ; \text{kde } z_3\text{-Tabulka 28; } p_{34}\text{-Tabulka 27} \quad \text{Rovnice 73}$$

$$z_4 = 19 \cdot 2,758 = 52,402$$

Volím počet zubů  $z_4=56$ .



kolo 4	
$z_4$	56
$m_{34}[\text{mm}]$	12
$d_4 [\text{mm}]$	672

Tabulka 29 – ozubené kolo 4

### Výpočet skutečného převodu

$$p_{34skut.} = \frac{z_4}{z_3} \quad ; \text{kde } z_4\text{-Tabulka 29; } z_3\text{-Tabulka 28} \quad \text{Rovnice 74}$$

$$p_{34skut.} = \frac{56}{19} = 2,947$$

$$p_{cskut.} = p_{12} \cdot p_{34} \quad ; \text{kde } p_{12}=319 \quad \text{Rovnice 75}$$

$$p_{cskut.} = 319 \cdot 2,842 = 940,21$$

$p_{cskut.}$	$p_{12}$	$p_{34skut.}$
940,21	319	2,947

Tabulka 30 – skutečné převodové poměry

### 6.3.3. Návrh pohonu

Při návrhu převodu jsem použil motor MU30, proto budu dále počítat s tímto motorem.

#### Potřebný kroutící moment na motoru

$$M_M = J_{Red} \cdot \alpha \cdot p_{cskut.} \quad ; \text{kde } \alpha=1 \text{ms}^{-2}; p_{cskut.}\text{-Tabulka 30} \quad \text{Rovnice 76}$$

$$J_{Red} = J_M + \frac{J_{př.}}{p_{12}^2} + \frac{J_c}{p_{cskut.}^2} \quad ; \text{kde } J_M=0,00213; J_{př.}=0,28047; J_c=26397,035 \quad \text{Rovnice 77}$$

$$J_{Red} = 0,00213 + \frac{0,28047}{319^2} + \frac{26397,035}{940,21^2} = 0,031994 \text{kgm}^2$$

$$M_M = 0,034247 \cdot 1 \cdot 940,21 = 30,08 \text{Nm}$$

#### Kontrola zrychlení a otáček

$$\alpha = \frac{M_{MU30}}{J_{Red} \cdot p_{cskut.}} ; \text{kde } M_{MU30}=30\text{Nm}; J_{Red}=0,031994\text{kgm}^2; p_{cskut.}-\text{Tabulka 30} \quad \text{Rovnice 78}$$

$$\alpha = \frac{30}{0,031994 \cdot 940,21} = 0,997 \text{ot} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$n_{sl} = \frac{n_{MU30}}{p_{cskut.}} ; \text{kde } n_{MU30}=3300\text{ot/min}; p_{cskut.}-\text{Tabulka 30} \quad \text{Rovnice 79}$$

$$n_{sl} = \frac{3300}{940,21} = 3,5 \text{ot} / \text{min}$$

### **Potřebný krouticí moment pro udržení rychlosti**

$$M_{nom.} = \frac{M}{p_{cskut.}} ; \text{kde } p_{cskut.}-\text{Tabulka 30} \quad \text{Rovnice 80}$$

$$M = F_{RAMa1x} \cdot r + F_{ROBa1x} \cdot r + M_{pas} ; \text{kde } F_{RAMa1x}, F_{ROBa1x}-\text{Tabulka 23}; r=0,65\text{m} \quad \text{Rovnice 81}$$

$$M_{pas} = (G_{SL} + G_{RAM} + F_{ROB}) \cdot f \cdot r \quad \text{Rovnice 82}$$

;kde  $G_{RAM}, G_{ROB}$ -Tabulka 23;  $f=0,01$ ;  $r=0,65\text{m}$

$$\text{Do } M = F_{RAMa1x} \cdot r + F_{ROBa1x} \cdot r + M_{pas} \quad ; \text{kde } F_{RAMa1x}, F_{ROBa1x}-\text{Tabulka 23};$$

$$r=0,65\text{m} \quad \text{Rovnice 81 dosadíme } M_{pas} = (G_{SL} + G_{RAM} + F_{ROB}) \cdot f \cdot r$$

Rovnice 82 a vyjádříme číselně

$$M = 2000 \cdot 0,65 + 500 \cdot 0,65 + (60000 + 20000 + 5000) \cdot 0,01 \cdot 0,65 = 8177,5\text{N}$$

$$M_{nom.} = \frac{8177,5}{940,21} = 8,7\text{Nm}$$

$M_{MU30}$ [Nm]	$M_{nom.MU30}$ [Nm]	$n_{MU30}$ [ot/min]	$J_{MU30}$ [kgm <sup>2</sup> ]
30	19	3300	0,00213

Tabulka 31 - motor MU30

### 6.3.4. Návrh ložiska

Volím axiálně-radiální ložisko. Na ložiska působí axiální a radiální síly od vlastních hmotností sloupu, ramene a robota. Postup výpočtu ložisek volen podle katalogu NSK.

#### *Síly od ozubení*

$$F_{ti} = \frac{2 \cdot M_i \cdot p_{cskut.}}{d_3} \quad \text{Rovnice 83}$$

$$F_{Ni} = F_{ti} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad ; \text{kde } \alpha = 20^\circ \quad \text{Rovnice 84}$$

$$F_i = \sqrt{F_{ti}^2 + F_{Ni}^2} \quad \text{Rovnice 85}$$

Dynamické síly:

$$\text{Do } F_{ti} = \frac{2 \cdot M_i \cdot p_{cskut.}}{d_3} \quad \text{Rovnice 83 dosadíme za } M_i = M_{MU30} - \text{Tabulka 31};$$

$p_{cskut.}$ -Tabulka 30;  $d_3$ -Tabulka 29.

$$F_{tD} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 940,21}{0,672} = 83947,3N$$

$$F_{ND} = 83947,3 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 30554,3N$$

$$F_D = \sqrt{83947,3^2 + 30554,3^2} = 89334,9N$$

Manipulační síly:

$$\text{Do } F_{ti} = \frac{2 \cdot M_i \cdot p_{cskut.}}{d_3} \quad \text{Rovnice 83 dosadíme za } M_i = M_{nomMU30} - \text{Tabulka 31};$$

$p_{cskut.}$ -Tabulka 30;  $d_3$ -Tabulka 29.

$$F_{tP} = \frac{2 \cdot 19 \cdot 940,21}{0,672} = 53166,6N$$

$$F_{NP} = 53166,6 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 19351N$$

$$F_p = \sqrt{53166,6^2 + 19351^2} = 56578,7N$$

Působící síly $F_i$	[N]
$F_D$	89334,9
$F_P$	56578,7

Tabulka 32-zatížení ložiska od ozubení

### Síly od konstrukce

$$F_{Rx} = F_{SLa1x} + F_{RAMa1x} + F_{ROBa1x} + F_{RAM\alpha} + F_{ROB\alpha} \quad \text{Rovnice 86}$$

$$F_{Ay} = G_{SL} + G_{RAM} + G_{ROB} + F_{RAMa2} + F_{ROBa2} \quad \text{Rovnice 87}$$

$$F_{Rz} = F_{RAM\omega} + F_{ROB\omega} + F_{ROBa3} \quad \text{Rovnice 88}$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Rz}^2} \quad \text{Rovnice 89}$$

$$\text{Do } F_{Rx} = F_{SLa1x} + F_{RAMa1x} + F_{ROBa1x} + F_{RAM\alpha} + F_{ROB\alpha} \quad \text{Rovnice 86,}$$

$$F_{Ay} = G_{SL} + G_{RAM} + G_{ROB} + F_{RAMa2} + F_{ROBa2} \quad \text{Rovnice 87, } F_{Rz} = F_{RAM\omega} + F_{ROB\omega} + F_{ROBa3}$$

Rovnice 88 dosadíme z Tabulka 25

$$F_{Rx} = 6000 + 2000 + 500 + 4000 + 2000 = 14500N$$

$$F_{Ay} = 60000 + 20000 + 5000 + 2000 + 500 = 87500N$$

$$F_{Rz} = 18 + 9 + 500 = 527N$$

$$F_R = \sqrt{14500^2 + 527^2} = 14509,6N$$

$F_{Ay}$ [N]	87500
$F_R$ [N]	14509,6

Tabulka 33-zatížení ložiska od konstrukce

### Celkové zatížení ložiska

Radiální zatížení

$$F_{Ri} = F_R + F_i \quad ; \text{kde } F_R\text{-Tabulka 33; } F_i\text{-Tabulka 32} \quad \text{Rovnice 90}$$

$$F_{RD} = 14509,6 + 89334,9 = 103844,5N$$

$$F_{RP} = 14509,6 + 56578,7 = 71088,3N$$

Axiální zatížení

$$F_{Ai} = F_{Ay} \quad ; \text{kde } F_{Ay} - \text{Tabulka 33}$$

**Rovnice 91**

$$F_{Ai} = 87500N$$

$F_{Ai} [N]$	87500
$F_{RD} [N]$	103844,5
$F_{RP} [N]$	71088,3

**Tabulka 34-zatížení ložiska**

**Zatěžující síly**

$$P_i = X \cdot F_{Ri} + Y \cdot F_{Ai} \quad ; \text{kde } X=0,4; Y=1,5; F_{Ai}, F_{Ri} - \text{Tabulka 34}$$

**Rovnice 92**

$$P_D = 0,4 \cdot 103844,9 + 1,5 \cdot 87500 = 172788N$$

$$P_P = 0,4 \cdot 71088,3 + 1,5 \cdot 87500 = 159685N$$

Zatěžující síla $P_i$	[N]	$q_i[\%]$	$n_i[\text{ot/min}]$
$P_D$	172788	10	2
$P_P$	159685	90	4

**Tabulka 35-zatěžující síly**

**Ekvivalentní zatížení ložiska**

$$P_C = \sqrt[10]{\frac{\sum q_i \cdot n_i \cdot P_i^3}{\sum q_i \cdot n_i}} \quad ; \text{kde } q_i, n_i, P_i - \text{Tabulka 35}$$

**Rovnice 93**

$$P_C = \sqrt[10]{\frac{10 \cdot 2 \cdot 172788^{10/3} + 90 \cdot 4 \cdot 159685^{10/3}}{10 \cdot 2 + 90 \cdot 4}} = 160439N$$

**Výpočet dynamické únosnosti**

$$C = \sqrt[10]{\frac{L_h \cdot n_m}{10^6}} \cdot P_c \quad ; \text{kde } L_h=20000h; n_m=3,8\text{ot/min}$$

**Rovnice 94**

$$C = \sqrt[10]{\frac{20000 \cdot 60 \cdot 3,8}{10^6}} \cdot 160439 = 252929 N$$

**Voleno ložisko**

ložisko	C <sub>skut.</sub> [kN]	počet
RZ50-2	2760	1

Tabulka 36 - typ ložiska

**Skutečná životnost**

$$L_{hskut.} = \left( \frac{C_{skut.}}{P_c} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n_m} \quad ; \text{kde } C_{skut.} - \text{Tabulka 36; } n_m = 3,8 \text{ ot/min}$$

**Rovnice 95**

$$L_{hskut.} = \left( \frac{2760000}{160439} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 3,8} = 57640763 h$$

## 6.4. Návrh osy X

V ose X je umístěn robot se základnou a pohybuje se po ramenu pomocí kuličkového šroubu, základna s robotem je na rameni uložena v lineárním vedení.

Požadovaná rychlost posuvu  $v_1 = 30 \text{ m/min}$ , požadované zrychlení  $a_1 = 1 \text{ m/s}^2$ .

### 6.4.1. Návrh převodu

Kvůli omezenému výběru motorů z řady MU je nutné navrhnout vložený převod mezi motorem a sloupem.

m <sub>sl</sub> [kg]	m <sub>2</sub> [kg]	m <sub>3</sub> [kg]	R [m]	a <sub>1</sub> [ms <sup>-2</sup> ]	M <sub>M</sub> [Nm]
6000	2000	500	0,057	1	30

Tabulka 37 – parametry sloupu

$$M_M = J_{Red} \cdot \alpha_M$$

**Rovnice 96**

$$J_{Red} = \frac{m \cdot R^2}{p^2}$$

**Rovnice 97**

Zanedbány momenty setrvačnosti motoru a převodovky.

$$\alpha_M = \frac{a_1}{R} \cdot p \quad \text{Rovnice 98}$$

Po dosazení  $\alpha_M = \frac{a_1}{R} \cdot p$       Rovnice 98 a  $J_{Red} = \frac{m \cdot R^2}{p^2}$       Rovnice 97do

$$M_M = J_{Red} \cdot \alpha_M \quad \text{Rovnice 96 dostaneme}$$

$$M_M = \frac{m \cdot R^2}{p^2} \cdot \frac{a_1}{R} \cdot p \quad \text{Rovnice 99}$$

Po úpravě  $M_M = \frac{m \cdot R^2}{p^2} \cdot \frac{a_1}{R} \cdot p$       Rovnice 99 dostaneme

$$p = \frac{m \cdot R}{M_M} \cdot a_1 \quad ; \text{kde } M_M, a_1, R \text{ - Tabulka 37} \quad \text{Rovnice 100}$$

$$m = m_{sl} + m_2 + m_3 \quad ; \text{kde } m_{sl}, m_2, m_3, \text{ - Tabulka 37} \quad \text{Rovnice 101}$$

$$m = 6000 + 2000 + 500 = 8500 \text{ kg}$$

$$p = \frac{8500 \cdot 0,057}{30} \cdot 1 = 16,2$$

Volím bezvúlovou cykloidní převodovku Sumitomo Cyclo 6000 s označením 6185DB s převodovým poměrem  $p_c=22$ .

### 6.4.2. Návrh ozubení

Ozubení bude navrženo pouze pro převod pastorek - hřeben, pro převodový poměr  $p_c$  je navržena převodovka od firmy Sumitomo.

Volím materiál 12 020, cementováno, kaleno.

$$\sigma_{Flimb} = 500 \text{ MPa} \quad \sigma_{Hlimb} = 1210 \text{ MPa}$$

$$m_{34} = f_p \cdot \sqrt[3]{\frac{K_F \cdot M_{K3}}{\psi_m \cdot z_3 \cdot \sigma_{FP}}} \quad ; \text{kde } f_p=18; K_F=1,27; \psi_m=34; \sigma_{Flimb}=271,2 \text{ MPa} \quad \text{Rovnice 102}$$

$$M_{k3} = M_M \cdot p_c \quad ; \text{kde } M_M \text{ - Tabulka 26; } p_{12} \text{ - Tabulka 27} \quad \text{Rovnice 103}$$

$$M_{k3} = 30 \cdot 22 = 660 Nm$$

$$m_{34} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,27 \cdot 660}{34 \cdot 19 \cdot 271,2}} = 3 mm$$

$$d_3 = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot M_{K3}}{\psi_d \cdot \sigma_{HP}^2}} \quad ; \text{kde } f_H=690; K_H=1,13; \psi_d=1,4; \sigma_{HP}=472 MPa \quad \text{Rovnice 104}$$

$$d_3 = 690 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,13 \cdot 9570}{1,4 \cdot 472^2}} = 90,3 mm$$

$$d_3 = z_3 \cdot m_{34} \Rightarrow m_{34} = \frac{d_3}{z_3} \quad ; \text{kde } z_3=19 \quad \text{Rovnice 105}$$

$$m_{34} = \frac{90,3}{19} = 4,856 mm$$

Volím modul  $m_{34}=6mm$ .

pastorek 3	
$z_3$	19
$m_{34} [mm]$	6
$d_3 [mm]$	114

Tabulka 38 – ozubený pastorek 3

### 6.4.3. Návrh pohonu

Při návrhu převodu jsem použil motor MU30, proto budu dále počítat s tímto motorem.

#### Potřebný kroutící moment na motoru

$$M_M = J_{Red} \cdot \frac{a_1}{R} \cdot p_c \quad ; \text{kde } a_1=1 ms^{-2}; p_c=22; R=0,057m \quad \text{Rovnice 106}$$

$$J_{Red} = J_M + \frac{J_{př.}}{p_c^2} + \frac{mR^2}{p_c^2} \quad ; \text{kde } J_M=0,00213 kgm^2; J_{př.}=0,28047 kgm^2; m=8500kg \quad \text{Rovnice 107}$$

$$J_{Red} = 0,00213 + \frac{0,28047}{22^2} + \frac{8500 \cdot 0,057^2}{22^2} = 0,059768 kgm^2$$



$$M_M = 0,059768 \cdot \frac{1}{0,057} \cdot 22 = 23,1 Nm$$

### Kontrola zrychlení a rychlosti

$$a_1 = \frac{M_{MU30} \cdot R}{J_{Red} \cdot p_c} \quad ; \text{kde } M_{MU30}=30Nm; J_{Red}=0,059768kgm^2; p_c=22; R=0,057m \quad \text{Rovnice 108}$$

$$a_1 = \frac{30 \cdot 0,057}{0,059768 \cdot 22} = 1,3ms^{-2}$$

$$v_{sl} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{MU30}}{p_c} \cdot R \quad ; \text{kde } n_{MU30}=3300ot/min; p_c=22; R=0,057m \quad \text{Rovnice 109}$$

$$v_{sl} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3300}{22} \cdot 0,057 = 53,7m/min$$

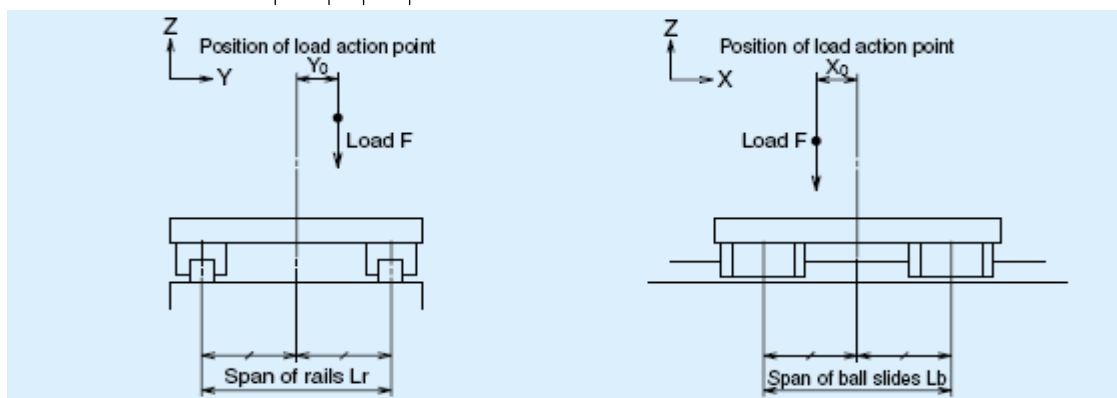
$M_{MU30}$ [Nm]	$M_{nom.MU30}$ [Nm]	$n_{MU30}$ [ot/min]	$J_{MU30}$ [kgm <sup>2</sup> ]
30	19	3300	0,00213

Tabulka 39 - motor MU30

### 6.4.4. Návrh vedení

Určující síla, skládá se ze sil dynamických a tíhy od jednotlivých částí stojanu. Koeficienty  $K_p$ , na Obrázek 44, Obrázek 45, Obrázek 46 jsou zobrazeny jednotlivé rozměry v třech možných směrech namáhání lineárních vedení.

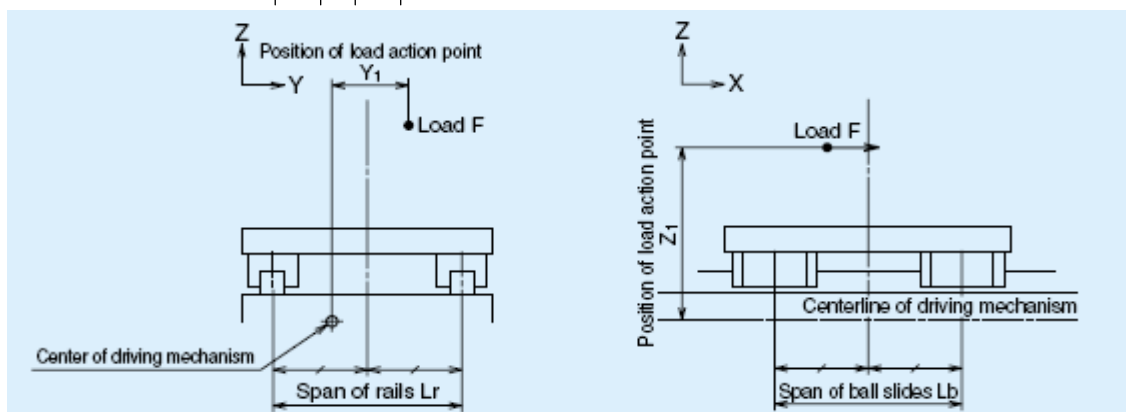
Kolmé zatížení:  $Kp = \left| \frac{X0}{Lb} \right| + \left| \frac{Y0}{Lr} \right|$  Rovnice 110



Obrázek 44 -Kolmé zatížení [11]

Axiální zatížení:  $Kp = \left| \frac{Z1}{Lb} \right| + \left| \frac{Y1}{Lr} \right|$

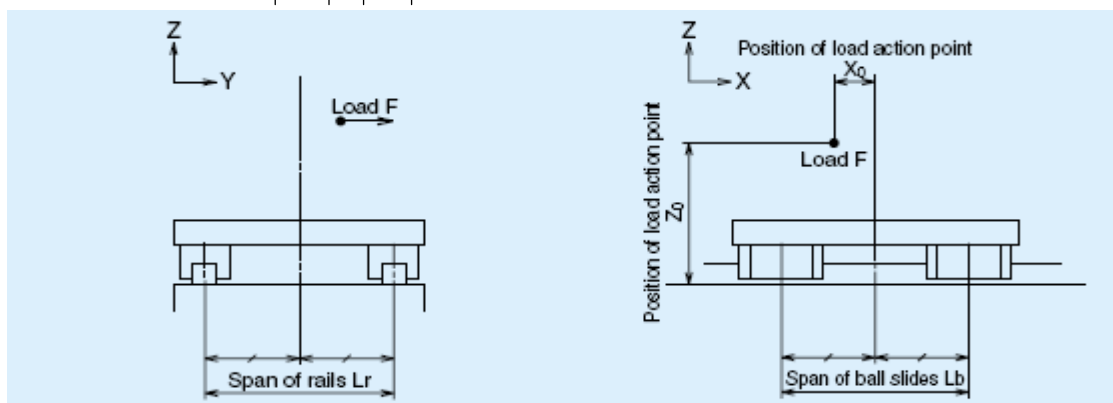
Rovnice 111



Obrázek 45 -Axiální zatížení [11]

Boční zatížení:  $Kp = \left| \frac{X0}{Lb} \right| + \left| \frac{Z0}{Lr} \right|$

Rovnice 112



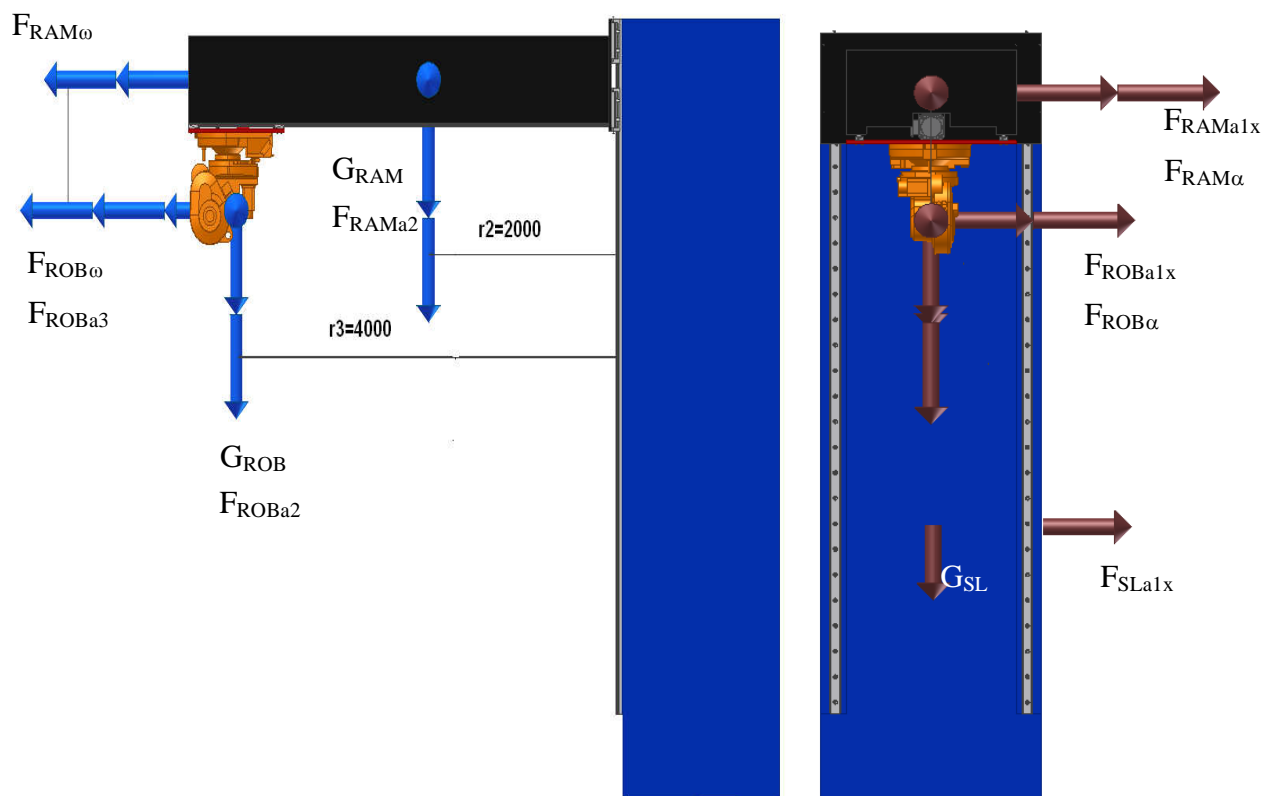
Obrázek 46 -Boční zatížení [11]

*Předpokládané zatížení a místo působení*

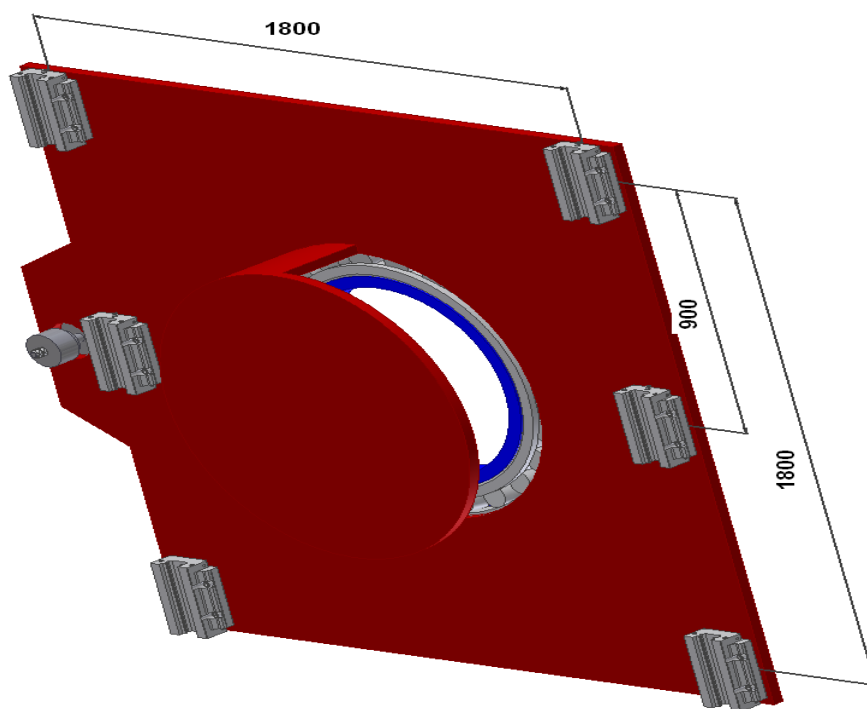
Působící síly $F_i$ [N]		osa x [mm]	osa y [mm]	osa z [mm]	Vedení osa x [mm]	Vedení osa y [mm]	Faktor $K_p$
$F_{ROB \omega}$	1750	0	0	4250	1800	1800	2,361
$F_{ROB a3}$	500	0	0	4250	1800	1800	2,361
$F_{RAM \omega}$	4000	0	0	5000	1800	1800	2,778
$G_{ROB}$	5000	0	4000	0	1800	1800	2,222
$F_{ROB a2}$	500	0	4000	0	1800	1800	2,222
$G_{RAM}$	20000	0	2000	0	1800	1800	1,111
$F_{RAM a2}$	2000	0	2000	0	1800	1800	1,111
$F_{ROB a1x}$	500	0	4000	4250	1800	1800	4,583
$F_{ROB \alpha}$	1750	0	4000	4250	1800	1800	4,583
$F_{RAM a1x}$	2000	0	2000	5000	1800	1800	3,889
$F_{RAM \alpha}$	4000	0	2000	5000	1800	1800	3,889
$F_{SL a1x}$	6000	0	0	2500	1800	1800	1,389
$G_{SL}$	60000	0	0	0	1800	1800	0,000

Tabulka 40 - síly působící na vedení

*Náčrt situace*



Obrázek 47 - předpokládané zatížení sloupu



Obrázek 48-rozměry vedení

### Výpočet zatěžující síly

$$P = \sum \frac{F_i}{n} + \sum \frac{Kp \cdot F_i}{n/2} \quad ; \text{kde } F_i, Kp - \text{Tabulka 40; } n=6 \quad \text{Rovnice 113}$$

$$\begin{aligned} P = & \frac{1750 + 500 + 4000 + 5000 + 500 + 20000 + 2000 + 500 + 1750 + 2000 + 4000 + 6000}{6} + \\ & + \frac{60000}{6} + \frac{1750 \cdot 2,361 + 500 \cdot 2,361 + 4000 \cdot 2,778 + 5000 \cdot 2,222 + 500 \cdot 2,222}{3} + \\ & + \frac{20000 \cdot 1,111 + 2000 \cdot 1,111 + 500 \cdot 4,583 + 1750 \cdot 4,583 + 2000 \cdot 3,889 + 4000 \cdot 3,889}{3} = \\ & + \frac{6000 \cdot 1,389 + 60000 \cdot 0}{3} = 49690 N \end{aligned}$$

### Výpočet dynamické únosnosti

$$C = \sqrt[10]{\frac{L_h \cdot v_m}{10^5}} \cdot P \quad ; \text{kde } L_h=20000h; v_m=53,7\text{m/min} \quad \text{Rovnice 114}$$

$$C = \sqrt[10]{\frac{20000 \cdot 53,7 \cdot 60}{10^5}} \cdot 49690 = 345951 N$$

### *Volba vedení*

C <sub>skut</sub> [N]	volba vedení	počet hnízd
345000	LH 85 GL	6

Tabulka 41 - typ vedení

### *Skutečná životnost*

$$L_{hskut.} = \frac{\left(\frac{C_{skut}}{P}\right)^{10/3} \cdot 10^5}{v_m} \text{ ; kde } C_{skut} \text{ - Tabulka 41; } v_m = 53,7 \text{ m/min}$$

Rovnice 115

$$L_{hskut.} = \frac{\left(\frac{345000}{49690}\right)^{10/3} \cdot 10^5}{60 \cdot 53,7} = 19817 \text{ hodin}$$

### *Délka vedení*

$$L_v = 24000 \text{ mm}$$

### *Objednací číslo vedení:*

**LH 85 24000 GL C 2 – 4,5 PN 0 – II**

## 7. Modální analýza

Při řešení modální analýzy jsem použil program Inventor. Celý model jsem zjednodušil tak, aby byly zachovány nejdůležitější části konstrukce, které by nejlépe popisovaly skutečné chování modelu.

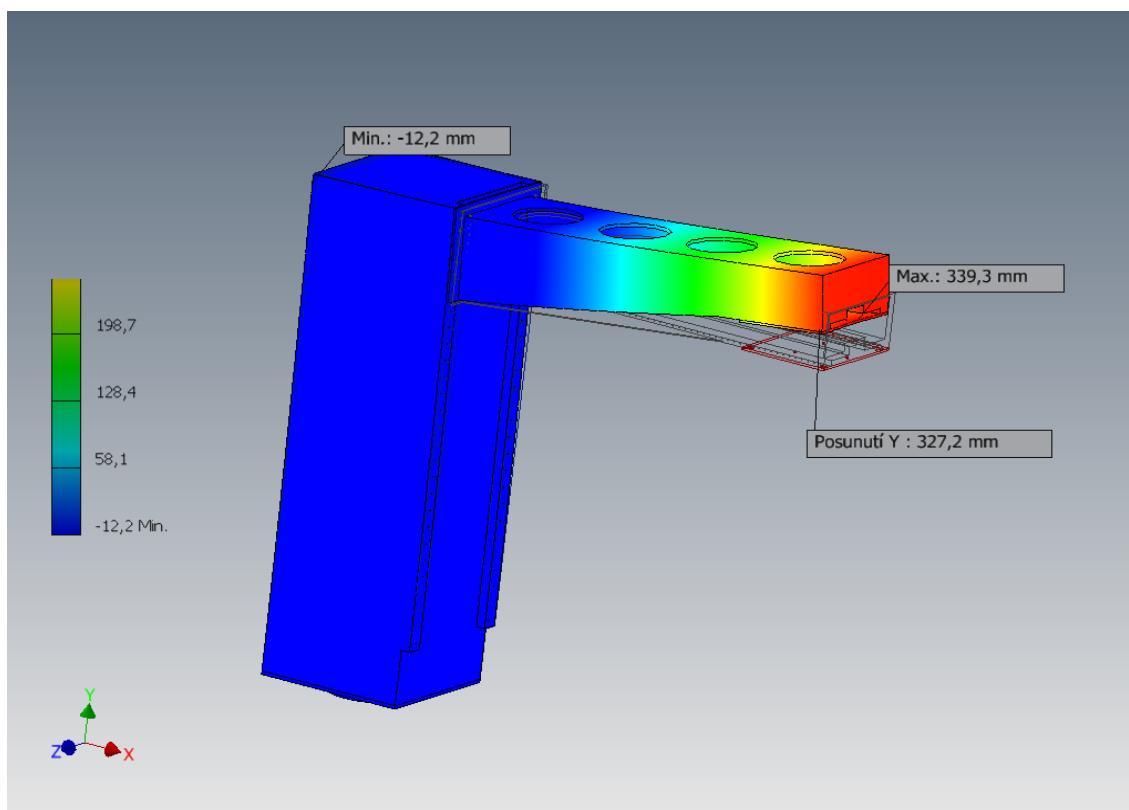
Pevnou vazbu jsem umístil na spodní část stojanu a určil jsem prvních osm vlastních frekvencí. Bylo nutné provést několik konstrukčních úprav na ramenu, abych dosáhl zvýšení vlastních frekvencí.

$f_1$ [Hz]	22,95
$f_2$ [Hz]	24,59
$f_3$ [Hz]	40,96
$f_4$ [Hz]	53,75
$f_5$ [Hz]	62,21
$f_6$ [Hz]	89,25
$f_7$ [Hz]	96,60
$f_8$ [Hz]	100,39

Tabulka 42-vlastní frekvence

Hodnoty v Tabulka 42 jsou přibližné a u skutečného modelu budou vlastní frekvence nižší.

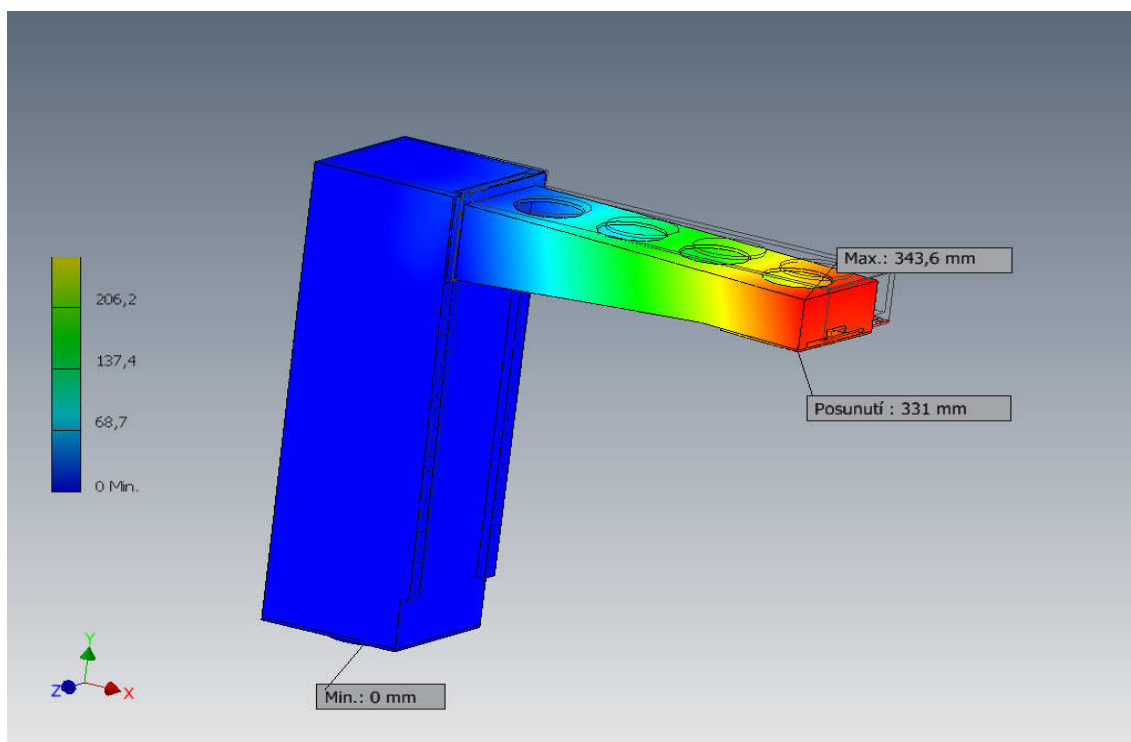
Na Obrázek 49 je znázorněné vektorové posunutí při první vlastní frekvenci. Z obrázku je patrné jak je při provozu nebezpečné dosahovat vlastních frekvencí.



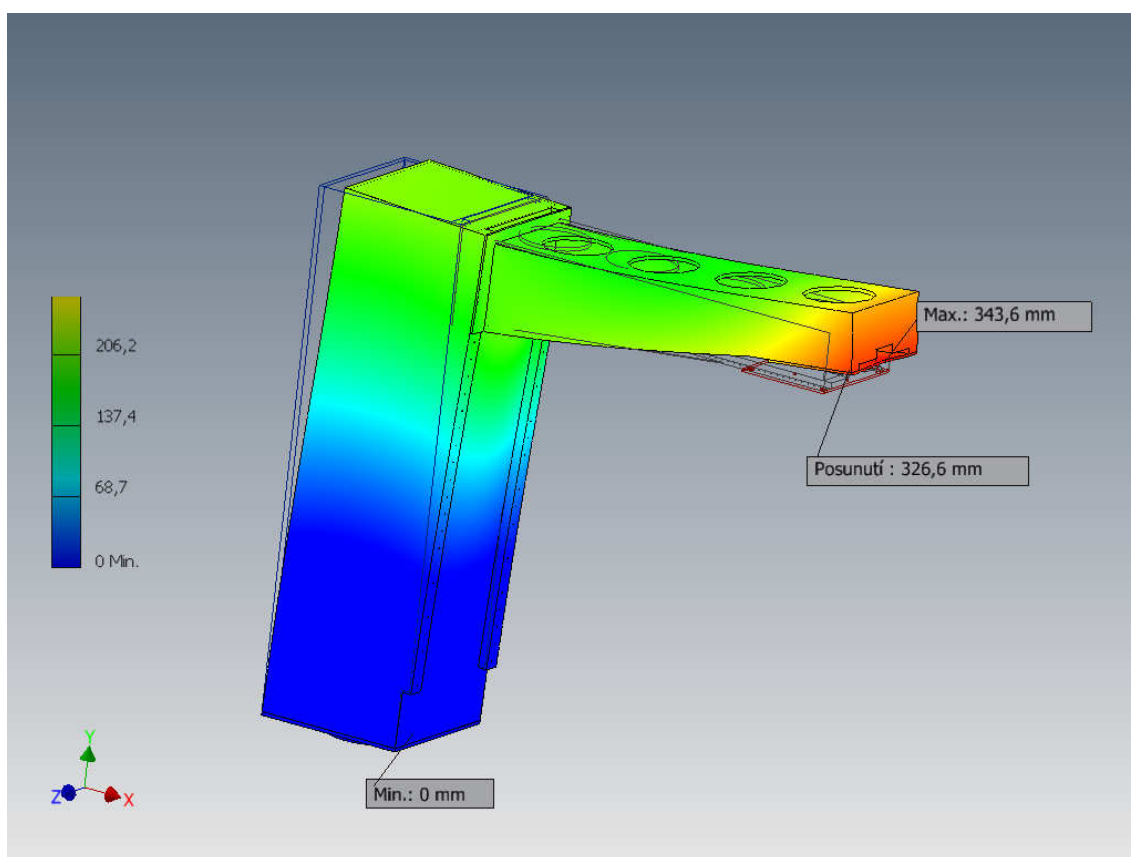
Obrázek 49-posunutí při první vlastní frekvenci

Posunutí při druhé a třetí vlastní frekvenci je znázorněno na Obrázek 50, Obrázek 51.





Obrázek 50-posunutí při druhé vlastní frekvenci



Obrázek 51-posunutí při třetí vlastní frekvenci

Na obrázcích je patrné posunutí vůči počáteční poloze a také provedené konstrukční úpravy na ramenu. Rameno je odlehčeno kruhovými otvory na horní části a dále je vyztuženo mezi spodní částí a deskou sloupu. Tyto úpravy měly za následek zvýšení vlastních frekvencí.

## 8. Hodnocení

V úvodní části práce jsem se věnoval průzkumu trhu, abych zjistil zda-li na trhu existuje podobné řešení a jaké firmy se tímto sortimentem zabývají. V současné době je na trhu celá řada výrobců zabývajících se problematikou externě řízených os pro roboty, kteří využívají z části vlastních komponentů, neexistuje však firma, která by byla schopna vytvořit zařízení pouze na základě vlastního sortimentu.

Po průzkumu trhu jsem navrhnul několik vlastních kinematických variant u kterých jsem předpokládal, že by mohli vyhovovat požadavkům uvedených v zadání. Z těchto variant jsem vybral jednu nejvhodnější, které jsem se dále podrobněji věnoval.

U zvolené varianty jsem navrhnul posuvy ve třech osách (x,y,z) a rotaci u paty stojanu kolem osy y. Pro osu z a y jsem navrhnul vedení od firmy NSK, motory od firmy ABB, kuličkové šrouby firmy KSK a ložiska firmy NSK. Pro osu y jsem přidal vyvažování od firmy Pascal. Pro osu x jsem navrhnul vedení od firmy NSK, motor od firmy ABB, bezvůlovou cykloidní převodovku od firmy Sumitomo a ozubený pastorek s ozubeným hřebenem firmy Winkel. Pro zajištění rotace jsem navrhnul motor od firmy

ABB, bezvůlovou cykloidní převodovku od firmy Sumitomo a ozubený převod mezi stojanem a převodovkou, celý stojan je uložený v ložisku firmy NSK.

Na konec jsem provedl modální analýzu v programu Inventor, abych zjistil tuhost a vlastní frekvence stojanu. Vlastní frekvence je dobré znát kvůli vlastnímu provozu, kde je potřeba se jim s dostatečnou rezervou vyhnout, aby nedocházelo ke kmitání celé konstrukce.

## 9. Závěr

Zvolenou variantu jsem vybral podle kritérií, které nejlépe vystihují zadání této práce. Návrh motorů byl omezen na sortiment produktů firmy ABB na řadu MU. Ve dvou případech jsem zvolil přímý pohon kuličkových šroubů a další dva pohony museli být kvůli zachování dynamických vlastností a zvýšení potřebného momentu doplněny o vložený převod. Pro návrh všech os jsem využil program Excel, aby bylo možné jednoduše měnit vstupní parametry a tak celou konstrukci modifikovat dle potřeby. Modální analýza provedena programem Inventor nám s přijatelnou přesností ukazuje chování celé konstrukce při dynamickém namáhání. První vlastní frekvence je asi 22,95Hz a druhá 24,59Hz, těmito i ostatním frekvencím je potřeba se při provozu vyhnout.

## 10. Literatura

- [1] PRUDKÝ, Jan. *Teorie a metodika svařování*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1986. 143 s.
- [2] SLAVÍK, Jaromír; STEJSKAL, Vladimír; ZEMAN, Vladimír. *Základy dynamiky strojů*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1997. 319 s. ISBN 80-01-01622-6.
- [3] TIMOŠENKO, Štěpán. *Kmitání ve strojnictví*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1960. 360 s.
- [4] MILÁČEK, Stanislav. *Modální analýza mechanických kmitů*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2001. 154 s. ISBN 80-01-02333-8.
- [5] STEJSKAL, Vladimír; BAUMA, Václav. *Mechanika výrobních strojů a zařízení : doplňkové skriptum*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1994. 55 s. ISBN 80-01-01212-3.
- [6] STEJSKAL, Vladimír; BAUMA, Václav; VAMPOLA, Tomáš. *Kmitání mechanických soustav : doplňkové skriptum*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2003. 69 s. : 29 il. s. ISBN 80-01-02752-X.

- [7] SOUČEK, Pavel. *Pohony výrobních zařízení : servomechanismy*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1997. 163 s. : 195 il. s.
- [8] SOUČEK, Pavel. *Servomechanismy NC strojů a průmyslových robotů*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1991. 105 s. ISBN 80-01-00498-8.
- [9] SOUČEK, Pavel. *Servomechanismy ve výrobních strojích*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2004. 210 s. : il. s. ISBN 80-01-02902-6.
- [10] KUGL, Otmar. *Projekt : III. ročník*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1997. 169 s. : 138 il. s. ISBN 80-01-01638-2.
- [11] *Precision Machine Components*. Japan : NSK LTD., 2003. 536 s. CAT. No. E3161d 2007 E-5.
- [12] *Motor unit : Product Manual*. Sweden : ABB, 2005. 52 s. 3HEA 506 200-102 Rev.A 2005-09.
- [13] *Kuličkové šrouby Kuřim : Katalog výrobků*. [s.l.] : KSK, 2004. 52 s. V. 2004-02.
- [14] *Sumitomo Speed Reducers & Gearmotors* [online]. Verze 1.1. Sumitomo Machinery Corporation of America, c2011 [cit. 2011-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.smcyclo.com/>>.
- [15] *Firemní podklady*. [s.l.] : ABB, 2008. 134 s.
- [16] *IRB 1600ID : Industrial Robot*. [Sweden] : ABB, [2005]. 2 s.